

Les cahiers de



# GLOBAL

---

# CHANCE

## **Effet de serre : les experts ont-ils changé d'avis?**

- \* Rapports résumés  
du Groupe  
Intergouvernemental  
sur l'Evolution du Climat**
  
- \* Commentaires et analyses**

**N°7 - Juillet 1996 - 70 F**

**Global Chance**  
**Association loi de 1901**  
**à but non lucratif**  
**(statuts sur simple**  
**demande)**  
**41 rue Rouget de Lisle**  
**92150 Suresnes**

**Le Conseil d'Administration**  
**de Global Chance**  
**est composé de :**

Benjamin DESSUS  
Ingénieur et économiste  
Président de l'Association

Jean-Pierre ORFEUIL  
Chercheur

François PHARABOD  
Ingénieur chercheur  
Trésorier de l'Association

Arthur RIEDACKER  
Agronome

Philippe ROQUEPLO  
Ingénieur et sociologue

Jean-Claude RAY  
Secrétaire de l'Association

**Les cahiers**  
**de Global Chance n°7**  
**Juillet 1996**

Directeur de publication :  
Benjamin DESSUS

Rédaction:

François PHARABOD

Maquette:

Ivan PHARABOD

Imprimerie :

N.R.J.B. - Montmorency

# SOMMAIRE

|                                                  |                                                                                                                                                                         |            |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Editorial</b>                                 | par Benjamin Dessus                                                                                                                                                     | <b>1</b>   |
| <b>Lettre au premier ministre</b>                |                                                                                                                                                                         | <b>5</b>   |
| <b>Rappel du colloque d'octobre</b>              |                                                                                                                                                                         | <b>7</b>   |
| <b>Un comité d'experts "intergouvernemental"</b> |                                                                                                                                                                         |            |
|                                                  | • Le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution des Climats, par A.Riedacker                                                                                            | <b>9</b>   |
| <b>Etat des connaissances scientifiques</b>      |                                                                                                                                                                         |            |
|                                                  | • Y a-t-il des éléments nouveaux dans le rapport rédigé par le Groupe I de l'IPCC? interview de Jean Jouzel par Philippe Roqueplo                                       | <b>17</b>  |
|                                                  | • Aspects scientifiques de l'évolution du climat, Résumé à l'intention des décideurs, Groupe de travail I du GIEC                                                       | <b>25</b>  |
| <b>Conséquences de l'évolution du climat</b>     |                                                                                                                                                                         |            |
|                                                  | • Le groupe II et les propositions pour le long terme, Interview d'Arthur Riedacker par Benjamin Dessus.                                                                | <b>31</b>  |
|                                                  | • Analyse scientifique et technique des incidences de l'évolution du climat, adaptation et atténuation, Résumé à l'attention des décideurs Groupe de travail II du GIEC | <b>39</b>  |
| <b>Aspects socio-économiques</b>                 |                                                                                                                                                                         |            |
|                                                  | • Consensus inespéré ou artefact rhétorique ? par Jean-Charles Hourcade                                                                                                 | <b>63</b>  |
|                                                  | • Aspects socio-économiques de l'évolution du climat Résumé à l'attention des décideurs Groupe de travail III du GIEC                                                   | <b>73</b>  |
| <b>Résumé officiel</b>                           |                                                                                                                                                                         |            |
|                                                  | • Synthèse du deuxième rapport d'évaluation du GIEC                                                                                                                     | <b>93</b>  |
| <b>Sommaire des numéros précédents</b>           |                                                                                                                                                                         |            |
|                                                  |                                                                                                                                                                         | <b>117</b> |

*Compte tenu de son volume, ce numéro des cahiers de Global Chance est vendu au double du prix habituel.*

# Editorial


**L**e cahier de Global Chance que nous vous présentons aujourd'hui est entièrement consacré au problème du changement de climat. Il nous a semblé en effet important de faire le point sur cette question alors que le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) a remis la version anglaise de son nouveau rapport il y a maintenant cinq mois. Le public francophone n'en connaît en effet aujourd'hui la plupart du temps que les analyses parues dans la presse.

Compte tenu de l'importance du sujet, plutôt que d'attendre l'édition de la version française officielle qui devrait paraître sous l'égide des Nations Unies, mais dont la date d'édition est encore mal connue, nous avons choisi d'éditer une version provisoire de cette traduction. Cette version risque donc de subir encore quelques modifications de détail qui ne devraient cependant pas mettre en cause ses grandes lignes.

Il n'était guère envisageable pour Global Chance de traduire et publier l'ensemble des documents qui constituent cet important travail de plusieurs milliers de pages. Nous avons choisi de publier le document de synthèse et les "résumés pour décideurs" rédigés par chacun des trois groupes de travail : "*Aspects scientifiques de l'évolution du climat*", "*Analyse scientifique et technique de l'incidence de l'évolution du climat, adaptation et atténuation*", "*Aspects socio-économiques de l'évolution du climat*".

Le travail du GIEC s'est effectué à trois niveaux :

- Tout d'abord celui des rapports de base des trois groupes de travail, qui représentent le travail de la communauté scientifique rassemblée sur ces sujets, après qu'il ait été soumis pour observations à la contre expertise des gouvernements et de spécialistes. C'est évidemment là que les scientifiques ont exprimé dans le détail l'état des connaissances dans le domaine de leur compétence.
- Ensuite celui des "rapports pour décideurs" de chaque groupe. Chacun de ces rapports a été examiné ligne par ligne et remanié profondément par des représentants désignés par les gouvernements.
- Enfin, celui du rapport de synthèse, qui a fait l'objet de négociations très serrées entre gouvernements à Rome en décembre 1995. Il n'est donc pas étonnant que sa rédaction et son contenu apparaissent comme d'une grande pauvreté par rapport aux autres documents.



Le dossier que nous présentons commence par une introduction historique qui rappelle les objectifs, l'organisation, la composition et le fonctionnement du GIEC. Nous avons choisi de présenter ensuite, en préambule de chaque “résumé pour décideurs”, un commentaire ou une interview d'un membre du groupe de travail considéré. Deux raisons essentielles à ce choix :

- rendre un peu de la richesse des débats qui se sont instaurés dans chacun des groupes et que les compromis d'un résumé ne peut refléter,
- essayer de mieux comprendre les évolutions les plus importantes des idées depuis le premier rapport du GIEC de 1991.

Nous publions en fin du dossier le rapport de synthèse dont le caractère “langue de bois” saute aux yeux à l'issue du parcours que nous vous proposons. On peut en dire de même de la réponse du cabinet du premier ministre à la lettre que nous avons adressée à Alain Juppé pour lui rappeler l'importance que nous attachions à voir renforcées ou au moins maintenues les prérogatives de la “Mission interministérielle effet de serre”. Contrairement aux décisions de son prédécesseur Edouard Balladur de placer cette mission directement sous sa coupe\*, Alain Juppé a en effet choisi de mettre cette mission sous la responsabilité d'un seul département ministériel, celui de l'Environnement, diminuant ainsi son autorité morale et sa représentativité internationale dans la négociation climat.

Il est d'autant plus important que la communauté scientifique et les citoyens trouvent les moyens de participer au débat international sur les changements de climat. Nous espérons vivement que ce dossier permettra à la communauté francophone de prendre une conscience plus aiguë de l'importance de ces questions, de l'évolution des idées et des débats et contribuera à renforcer la présence des scientifiques, des administrations et des ONG francophones, encore beaucoup trop marginale à nos yeux, dans ce grand débat qui est au cœur des préoccupations de “Global Chance”.

**Benjamin Dessus**

\* Cahiers de Global Chance n°5, Avril 95.

Paris le 14 février 1996

Monsieur le Premier Ministre

Il y a maintenant plus d'un an, nous avons eu l'occasion d'attirer l'attention de votre prédécesseur, Monsieur Edouard Balladur, sur nos préoccupations concernant la mise en oeuvre des engagements de la France dans le domaine de l'effet de serre au titre de la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

En particulier, nous insistions auprès de lui pour que le caractère interministériel de la Mission effet de serre et le renforcement de son rôle dans l'organisation de la présence de la France dans les instances européennes et internationales soient clairement réaffirmés.

Le Premier Ministre a bien voulu, dans sa réponse en date du 13 mars 1995, nous annoncer sa décision de placer directement le Président de la Mission effet de serre sous son autorité afin de "renforcer son autorité au plan interne et de lui confier un rôle plus important dans la préparation et la coordination des négociations internationales".

Aujourd'hui des rumeurs insistantes et concordantes laissent penser que vous envisagez de placer la Mission effet de serre sous l'autorité du Ministre de l'Environnement.

Une telle mesure nous apparaîtrait comme un recul important à la fois sur les plans national et international.

Cette décision éventuelle serait en effet ressentie, non seulement par les ministères concernés mais aussi par l'opinion publique, comme un affaiblissement du caractère interministériel de la Mission, au moment même où le programme français de lutte contre l'effet de serre montre ses faiblesses et ses difficultés de mise en oeuvre et de coordination.

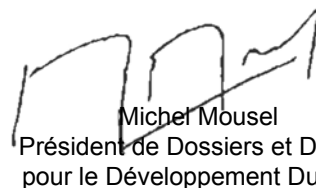
Son poids dans le débat international et communautaire s'en ressentirait également, alors que les efforts passés avaient permis d'affirmer clairement la capacité de la Mission à assurer la fonction de porte parole de la France dans la difficile négociation de la convention climat, en particulier au plan communautaire.

C'est pourquoi, sans méconnaître un instant le rôle essentiel que doit à notre sens jouer le Ministère de l'Environnement dans le domaine de la lutte contre l'effet de serre, nous souhaitons insister auprès de vous pour que non seulement le rattachement de la Mission effet de serre auprès du Premier Ministre qui avait été annoncé officiellement il y a moins d'un an ne soit pas remis en cause mais aussi pour que l'importance de son rôle soit clairement réaffirmé.

Nous espérons vivement que vous voudrez bien répondre favorablement à nos préoccupations, et vous prions, Monsieur le Premier Ministre, d'agréer l'expression de toute notre considération.



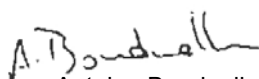
Benjamin Dessus  
Président de Global Chance



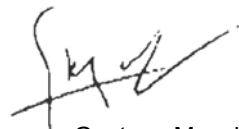
Michel Mousel  
Président de Dossiers et Débats  
pour le Développement Durable



Pierre Samuel  
Directeur scientifique des Amis de la Terre



Antoine Bonduelle  
Réseau Action Climats - France



Gustave Massiah  
Association Internationale de  
Techniciens Experts et Chercheurs

Copie : Madame Corinne Lepage, Ministre de l'Environnement  
Secrétariat : B. Dessus, Global Chance, 1 rue du Cerf, 92195 Meudon

**PREMIER MINISTRE**

Paris le 8 Mars 1996

LE CHEF DE CABINET

Références à rappeler :

CAB IV/2 - SC/HP

R146141.1.1

*Monsieur le Président,*

*Le Premier Ministre a bien reçu la lettre que vous lui avez adressée concernant la tutelle ministérielle de la mission effet de serre.*

*Monsieur Alain Juppé a pris note de vos préoccupations à ce sujet et m'a chargé de vous répondre.*

*Soyez assuré que le Premier Ministre est très sensible à la question de la lutte contre l'effet de serre. L'évolution des climats est en effet aujourd'hui un des grands enjeux auquel doivent répondre nos politiques industrielles de l'environnement.*

*La mission effet de serre ne peut donc que s'inscrire dans une action interministérielle, compte tenu de la nature des sujets dont elle doit traiter. A cet égard, la question de son rattachement administratif est indépendante de l'importance de son rôle.*

*Je vous remercie de bien vouloir tenir informés les cosignataires de votre lettre de la teneur de cette réponse, et vous prie de croire, Monsieur le Président, à l'assurance de ma considération distinguée.*



*Nicolas DESFORGES*

*Monsieur Michel MOUSEL  
Président de Dossiers et Débats  
pour le Développement Durable  
7 impasse Charles Petit  
75011 PARIS*

# Science, pouvoir et démocratie

*Pour une science responsable*

## Colloque en hommage à Martine Barrère

les 4 et 5 octobre 1996

Salle Médicis, Sénat, Palais du Luxembourg, Paris

Le colloque sera organisé sous la forme de quatre tables rondes sur les thèmes suivants :

### **La responsabilité des scientifiques**

Préparation assurée par Catherine Allais, Dominique Chouchan et Benjamin Dessus

### **Le rôle des pouvoirs politiques et institutionnels**

Préparation assurée par Jean-Yves Barrère, Bernard Laponche et Michel Mousel

### **Média et contre-pouvoirs**

Préparation assurée par Catherine Allais, Dominique Chouchan et Philippe Roqueplo

### **L'implication des citoyens**

Préparation assurée par Gustave Massiah, Gilles Moinot et Ghislaine Garin-Ferraz

Secrétariat scientifique : Yves Marignac Tél : (1) 69 41 78 25 Fax : (1) 69 85 54 93  
Secrétariat du colloque : Ghislaine Garin-Ferraz, AITEC 20 Grande rue, 93310 Sèvres Tél : (1) 45 07 83 63 Fax : (1) 45 34 82 60

# COLLOQUE SCIENCE, POUVOIR ET DÉMOCRATIE

Nul ne peut nier le caractère de plus en plus scientifique et technique des sociétés industrialisées. Qu'il s'agisse d'armement, d'énergie, d'environnement, de santé, voire de définition même de l'être humain, la science et la technique sont partout impliquées. Elles ont connu des succès incontestables depuis leur épanouissement en Occident au siècle des Lumières. Aujourd'hui, on ne peut cependant ignorer les risques graves qu'elles font courir aux populations et à la planète entière. Longtemps considérées comme protectrices et émancipatrices, elles sont désormais perçues comme une arme à double tranchant : bénéfique et menaçante, porteuse d'espoir et incapable d'enrayer les maux du monde moderne.

La science dans ses rapports avec la société n'est donc pas neutre. C'est, pour beaucoup, devenu une évidence. Si des événements majeurs comme Hiroshima, Tchernobyl, Bophal ou l'affaire du sang contaminé, ont ébranlé les consciences et contribué à porter un regard nouveau sur la science, ils n'ont pourtant pas suffi à provoquer le vaste débat qu'exige son essor. Le processus s'accélère, avec l'assentiment d'une société qui, dans son ensemble, reste confiante dans les capacités innovantes de la science et de la technique ; avec la complicité de chercheurs qui persistent à défendre une vision farouchement positiviste du « progrès ». Le fameux appel de Heidelberg l'a rappelé, la vieille idéologie scientiste n'est pas morte et sert à légitimer le pouvoir universel de la science et de la technique.

Rarement remis en cause, les grands projets de recherche et de développement ne font pas l'objet de choix démocratiques dans notre pays. La complexité des questions en jeu fournit, le plus souvent, un alibi aux experts pour écarter du débat public les décisions essentielles. Quant aux élus de la nation, ils ne sont guère armés pour en évaluer les conséquences et résister aux pressions des lobbies scientifiques, industriels et militaires. Résultat, le pouvoir de la science s'exerce, le plus souvent, sans partage, ni contrepoids, en marge donc du débat démocratique. En témoignent les grands programmes technologiques français décidés par une poignée d'hommes politiques et de scientifiques. En témoigne aussi la sur-représentation des médecins et des biologistes au sein des comités d'éthique ou les pressions exercées

par les scientifiques sur les parlementaires français pour refuser le principe du regard public sur l'utilisation des organismes génétiquement modifiés. Plus qu'hier encore, le débat entre chercheurs, politiques et citoyens s'impose pour éclairer l'avenir.

De plus en plus, ce sont les lois du marché qui dictent les priorités de recherche. Dans tous les secteurs rentables, la logique économique est devenue le moteur de l'activité scientifique et technique. Ainsi assiste-t-on à la privatisation, par une poignée de firmes, du patrimoine génétique végétal de la planète. Et bientôt, ce pourrait être le tour des gènes humains. Les établissements publics de recherche eux-mêmes sont invités à se plier aux impératifs économiques. Le risque existe que, cette fois-ci, ni les politiques, ni les chercheurs et encore moins les citoyens ne maîtrisent les effets d'un « progrès » de plus en plus asservi à l'économie de marché.

Résultat du contexte dans lequel se développe la technoscience, le fossé s'agrandit entre ceux qui ont accès au savoir et les autres. L'écart se creuse aussi entre le Nord et le Sud. Car la science, universelle dans son principe, est monopolisée par un petit nombre de pays industrialisés. Et elle se refuse à reconnaître toute autre forme de connaissances. Dans le même temps, la « philosophie du progrès » suscite l'émergence d'une forte idéologie anti-science tout aussi néfaste.

« Il faut construire une autre science, fondée sur de nouveaux rapports entre les scientifiques et les citoyens » écrivait Martine Barrère, journaliste scientifique, qui avait compris, sans doute mieux que d'autres ou avant d'autres, combien la science avait changé et perdu ses repères traditionnels. Réfléchir aux conditions d'une science démocratiquement débattue et socialement maîtrisée est l'objectif de ce colloque organisé à la mémoire de Martine Barrère, disparue prématurément. Ce débat, qui doit être pensé en termes mondiaux, s'adresse à tous ceux qui refusent que la technoscience ne devienne une machine à fabriquer de l'inévitable. Nous sommes convaincus que les scientifiques et les décideurs politiques ne pourront l'esquisser plus longtemps. Notre destin en dépend.

□



# Un comité d'experts “intergouvernemental”

## Le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution des Climats

A. Riedacker

**O**n savait depuis la fin du siècle dernier que notre atmosphère exerce un puissant effet protecteur contre la perte de chaleur par rayonnement ; la vapeur d'eau et le gaz carbonique qui, l'un et l'autre, n'existent qu'en faible quantité dans l'air, déclare Arrhénius en 1895 devant l'Académie des Sciences de Suède, jouent un rôle majeur dans l'équilibre climatique. Sans cette action que l'on appelle effet de serre la température moyenne à la surface du globe serait non pas de +15°C mais de 18°C.

### Les années 60–70

On constate que depuis quelques

décennies la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère augmente (les observations faites depuis 1957 au sommet du volcan éteint de Hawaï ne sont contestées par personne). Xeeing, de l'Université de San Diego en Californie est alors amené à prédire, dès le milieu des années 1960, une augmentation de la température moyenne de la terre.

Les chercheurs commencent à approfondir la question. Certains d'entre eux cherchent dès le début des années 1970, comme le rappelait le président du PNUE, à sensibiliser les décideurs à la nécessité de réduire les émissions de gaz carbonique. Mais les chocs pétroliers, en favorisant l'émergence de politiques d'éco-

nomie et de substitution de pétrole, qui pour l'essentiel vont dans le même sens que les recommandations des climatologues, sont alors bien plus efficaces que les menaces relatives au changement climatique.

### 1986-1987

Après le contrechoc pétrolier de 1986, la sonnette d'alarme est tirée une nouvelle fois. Et en y regardant de plus près les chercheurs s'aperçoivent que d'autres gaz résultant des activités humaines, CFC (déjà accusés dans la réduction de l'épaisseur de la couche d'ozone), les oxydes d'azote, le méthane et d'autres encore comme le monoxyde de

carbone, jouent également un rôle important à côté du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) seul accusé jusqu'alors.

En 1987, une série de conférences non gouvernementales mettent en lumière les menaces de réchauffement du climat (notamment à Villach et à Bellagio).

Et c'est en 1988, à Toronto (Canada), que les pays membres de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, ou WMO en anglais) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE, ou UNEP en anglais) décident, lors de leurs réunions respectives, de mettre en place un mécanisme intergouvernemental pour traiter du changement climatique dont les buts seront :

- 1 De comprendre comment va réagir le climat à la suite de l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre.
- 2 D'étudier les impacts sur l'environnement, les sociétés et l'économie de ces éventuels changements climatiques.
- 3 De définir des politiques pour réduire les émissions de ces gaz et pour s'adapter aux changements déjà inéluctables.

### Novembre 1988

Première rencontre, à Genève, du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, ou IPCC<sup>1</sup> en anglais) ; trois groupes de travail internationaux correspondant aux points 1, 2, 3 évoqués

ci-dessus sont créés. Ils sont présidés respectivement par la Grande-Bretagne, l'URSS et les Etats-Unis. Un quatrième groupe traitant plus spécialement des problèmes des pays en développement est en outre créé sur proposition de la France.

Ces quatre groupes ont pour mission de remettre leur rapport pour la deuxième conférence mondiale sur le climat en novembre 1990.

### 1989

A la Haye, le 11 mars : à l'initiative des Premier Ministres de la France, des Pays Bas et de la Norvège, 24 Chefs d'Etat et de gouvernements s'engagent à lutter contre le renforcement de l'effet de serre.

A Paris en juillet, au sommet de l'Arche, le Groupe des 7 et l'Europe adoptent une résolution commune pour faire face aux problèmes liés à la menace du renforcement de l'effet de serre.

A Noordwijk en novembre, à la conférence ministérielle, les pays industrialisés déclarent s'engager à stabiliser les émissions dès que possible (en l'an 2000 pour l'Europe, le Canada, l'Australie et la Nouvelle-Zélande, plus tard pour les Etats-Unis, l'URSS et le Japon).

En décembre, lors de l'assemblée générale des Nations Unies il est convenu que "des négociations internationales conduisant à un accord initial ou à une convention relative à l'effet de serre commenceraient début 1991 après la présentation du rapport du Groupe Intergouvernemental sur

*l'Evolution du Climat à la seconde conférence mondiale sur les Climats en novembre 1990. L'accroissement des concentrations dans l'atmosphère de CO<sub>2</sub>, de méthane et d'autres gaz à effet de serre résultant d'émissions d'origine anthropique a conduit les scientifiques à prédire que la surface de la terre se réchauffera de l'ordre de 3°C d'ici la fin du prochain siècle si les émissions continuent comme actuellement. L'ampleur, le montant, la répartition régionale et les conséquences socio-économiques de ce réchauffement restent dans une certaine mesure imprécis, mais il y a déjà un accord suffisant sur la nécessité d'entreprendre des actions préventives pour que les pays membres des Nations Unies s'engagent à commencer des négociations devant conduire à une convention sur l'effet de serre" (15 décembre 1989).*

### 1990

Juillet : au sommet de Houston aux Etats-Unis, le Groupe des 7 tombe d'accord sur le fait qu'une convention sur l'effet de serre devrait être obtenue pour 1992.

Août : les quatre groupes du GIEC se réunissent à Sundsvall en Suède pour établir la version finale du premier rapport. Plus de 1 000 chercheurs et spécialistes, selon le président du PNUE, ont été associés à la rédaction de ce rapport.

Octobre : les ministres de l'environnement des 12 pays de la CEE réunis à Luxembourg s'engagent à limiter en l'an 2000 les émissions de carbone fossile au niveau de la CEE en 1990.

Novembre : 2<sup>ème</sup> conférence mondiale sur le climat à Genève.  
 Décembre : le PNUÉ invite la communauté scientifique, l'industrie, les syndicats et les ONG concernés à se mobiliser pour la préparation d'une convention cadre.

## Le GIEC et le CIN<sup>2</sup> : des missions séparées mais complémentaires

Dès 1991 le GIEC devient une instance distincte du Comité de Négociation pour une Convention Climatique (CIN). La première session du CIN se tient à Washington fin janvier 1991. Quatre sessions de 15 jours chacune sont nécessaires pour aboutir à New York, en mai 1992, au texte de la Convention sur le Climat qui sera présenté au sommet de Rio pour signature. Cette dernière entre en vigueur en 1994 après que 50 états l'aient ratifiée. Elle est suivie, comme prévu, par la Conférence de Berlin en avril 1995, un an après l'entrée en vigueur de la Convention.

Quant au GIEC, il reste chargé, non pas de faire de la recherche, mais d'évaluer les publications scientifiques et techniques. Il peut être amenée à les mettre en perspective, par exemple à travers les scénarios, à souligner l'insuffisance des connaissances dans certains domaines afin d'encourager le développement de nouvelles recherches.

Le GIEC **n'est donc pas**, et son président Bert Bolin l'a rappelé plusieurs fois avec force, **une instance de négociation** comme le CIN, il n'a pas à faire de

recommandations aux gouvernements. Ce point est important pour comprendre pourquoi les travaux du GIEC, contrairement aux attentes de certains lecteurs, n'indiquent pas ce qu'il faut faire, mais ce qu'on peut faire et les conséquences de ces actions.

Selon son président

- *“les rapports de l'IPCC (GIEC) doivent fournir l'analyse la plus objective des faits concernant les changements climatiques, les impacts et les actions alternatives envisageables ainsi que leurs conséquences...”*
- *“les incertitudes doivent être enregistrées”,*
- *“un consensus doit être recherché sur les questions scientifiques et si cela ne peut être obtenu il faut prendre en considération les incertitudes qui empêchent de l'atteindre.”*

Le fonctionnement du GIEC doit être libre, scientifique et rester flexible. Il doit rechercher la participation du maximum de personnes dans une large gamme de pays et *“inviter les experts des organisations internationales, intergouvernementales et non gouvernementales et des experts isolés concernés ayant fait leurs preuves, à contribuer à ses travaux”*<sup>3</sup>.

D'après la résolution 45/212 des Nations Unies *“on attend que le GIEC, entre autre, fournisse l'analyse la plus objective possible des évaluations scientifiques et techniques relatives à la question de changements climatiques, et assiste le CIN sur ces questions”*<sup>4</sup>.

**Mais le GIEC est aussi une instance intergouvernementale dépendant des agences techniques et scientifiques des Nations Unies que sont l'Organisation Météorologique Mondiale, basée à Genève, et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement basé à Nairobi :**

- les membres de son bureau sont proposés par les gouvernements<sup>5</sup> ;
  - les programmes de travail, la structuration des groupes de travail et les termes de référence de ces derniers (par exemple le plan précis du rapport du groupe de travail) sont élaborés lors des séances plénières du GIEC constituées de membres désignés par les gouvernements (et des experts assistant ces derniers)<sup>6</sup> ;
  - les rapports élaborés par les groupes de travail doivent être discutés et approuvés par les instances du GIEC (bureau et assemblées plénières) avant de pouvoir être diffusés avec le label du GIEC ; les travaux des groupes de travail (les différents chapitres des rapports) sont soumis à contre-expertise (comme pour les publications scientifiques).
- Cette contre-expertise doit se prononcer sur le contenu scientifique ou technique (précision et caractère exhaustif) des projets de chapitres et sur leur équilibre du point de vue scientifique et technique. Elle a été réalisée :
- **par des spécialistes reconnus dans les divers domaines** (spécialistes réputés pour leurs publications scientifiques ou tech

niques, ou figurant sur une liste établie par les présidents et coprésidents, ou désignés par les pays représentés au sein du GIEC ou par les organismes internationaux scientifiques ou techniques compétents (OMM, PNUE, FAO, OCDE, Banque mondiale et banques régionales...),

• **et par des experts gouvernementaux que chaque gouvernement est libre de désigner comme il l'entend**<sup>7</sup>.

Les rédacteurs des différents chapitres ont dû répondre par écrit à toutes les remarques des gouvernements et des spécialistes et prendre en compte toutes les objections justifiées. Ce fut un travail considérable. Certains gouvernements, en particulier celui des Etats-Unis, ont fait de très nombreuses remarques.

Instance intergouvernementale, le GIEC doit aussi avoir une représentation nationale équilibrée. Il se doit en particulier, à partir de 1991, de faire participer, davantage que lors de l'élaboration du premier rapport, les pays en développement. Une telle évolution présente un double intérêt : les pays en développement sont en effet les mieux à même d'apprécier les impacts et les mesures à prendre dans leurs pays. S'agissant d'une question concernant l'ensemble de la planète, il est d'autre part important que le maximum de pays du Sud et du Nord participent à la convention, partagent les informations et apprennent les uns des autres ...

On peut dire que le GIEC a fait un effort sérieux en ce sens ; il a insisté régulièrement sur l'import-

tance de la contribution des pays industrialisés au fonds destiné à prendre en charge les frais financiers occasionnés par la participation des experts des pays en développement.

Notons que pour les séances plénières du GIEC les participants ont disposé, conformément aux traditions des Nations Unies, de traductions simultanées dans les différents langues officielles. En revanche, tous les rapports du GIEC, et la quasi totalité des documents de travail des différents groupes de travail ont été rédigés en anglais. Et cela bien que la réunion plénière du GIEC à Hararé en 1993 ait recommandé d'envisager la traduction des projets de textes dans toutes les langues officielles des Nations Unies.

**On remarquera enfin la faible participation des pays francophones. Souhaitons que les informations que nous avons détaillées dans ce numéro de Global Chance et les rapports à paraître incitent ces derniers à redresser la barre ...**

### **Les rapports supplémentaires du GIEC de 1992**

Après l'adoption du premier rapport en 1990, le GIEC a estimé nécessaire d'approfondir les connaissances dans un certain nombre de domaines mal pris en compte, notamment au sein du groupe III. La liste ci dessous permet d'avoir un aperçu des questions traitées ainsi que des pays ayant accepté de se charger de la rédaction des rapports soumis à un processus de contre

expertise (mais plus léger que pour les rapports de 1990 et 1995) :

- 1 Evaluation globale des options technologiques, par Kaya et al. (Japon) ;
- 2 Inventaire et caractérisation des technologies, par E. Williams (Etats-Unis) ;
- 3 Potentiel de réduction des émissions de méthane, par Hogan (Etats-Unis) et Sato (Japon) ;
- 4 Biomasse, par A. Riedacker (France)<sup>8</sup> ;
- 5 Gaz naturel par Mme Smyser (Etats-Unis) ;
- 6 Usage final de l'électricité, par M. Levine (Etats-Unis) ;
- 7 Analyse des facteurs déterminant la consommation sectorielle et régionale d'énergie et les émissions de gaz carbonique, par Y. Ogawa (Japon) ;
- 8 Les transports routiers, par R. Pashinger (Autriche) ;
- 9 Impacts des mesures sur l'économie mondiale, par Al Shabban (Arabie Saoudite) ;
- 10 Recommandations pour les études par pays, par D. Tirpark (Etats-Unis).

### **La configuration du GIEC lors de la préparation du second rapport**

Trois groupes de travail avaient été constitués pour la rédaction du premier rapport.

• Le premier, chargé de l'évaluation des connaissances scientifiques relatives au changement climatique, a été maintenu pour la rédaction du second rapport. Il

devait, entre autre, selon le rapport de la huitième session du GIEC d'Hararé en 1993 :

- "évaluer les informations scientifiques disponibles"<sup>9</sup> quant à l'évolution des climats<sup>10</sup>,
- "développer des méthodologies pour l'établissement des inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre d'origines anthropiques", pour permettre, dans le cadre de la Convention sur le Climat, des comparaisons des émissions nettes par pays avec des méthodologies communes.

• Le groupe II, chargé de l'évaluation des impacts et des conséquences socio-économiques (voir note 5 pour les coprésidences) et le groupe III, chargé d'évaluer les stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'adaptation<sup>11</sup>, ont été remaniés. Rappelons que les évaluations économiques des anciens groupes II et III avaient été fortement controversées.

Le nouveau groupe II fut chargé de l'évaluation des impacts, des adaptations et des stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans une approche dite "bottom up" tandis que le nouveau groupe III fut chargé de l'évaluation socio-économique et des scénarios dans une approche dite "top down" devant rencontrer et compléter celle du groupe II.

Le nouveau groupe II eut pour mission d'évaluer "les connaissances scientifiques, techniques, environnementales, sociales et économique, relatives à l'impact

de l'évolution des climats, à l'adaptation à ces changements climatiques et à la réduction des émissions pour atténuer les changements climatiques". Il devait, entre autre, s'intéresser :

- aux impacts sur les zones vulnérables, les ressources, les écosystèmes et les activités humaines ;
- à l'évaluation des évolutions des émissions nettes de gaz à effet de serre ;
- à l'impact des changements technologiques et à l'adaptation aux changements climatiques, en étant particulièrement attentif aux pays en développement ;
- à l'élaboration de méthodologies, notamment pour réaliser des inventaires nationaux des impacts, pour évaluer les vulnérabilités et les choix technologiques<sup>12</sup>.

• Le nouveau groupe III devait traiter des aspects économiques transversaux et autres liés à l'évolution des climats, en particulier :

- évaluer les aspects sociaux et économiques à court et à long termes au niveau régional et planétaire,
- développer des scénarios pour déterminer l'évolution des émissions en se basant sur diverses hypothèses de croissance économique, de croissance démographique et d'évolutions techniques, afin d'aider les groupes I et II.

## Le fonctionnement du GIEC d'ici l'an 2000<sup>13</sup>

Comme précédemment, la période suivant l'adoption du second rapport sera consacrée à diverses questions posées par le Comité Intergouvernemental de Négociation de la Convention sur le Climat<sup>14</sup> :

- 1 Politiques et mesures pour encourager l'adoption de technologies et de pratiques (sous la responsabilité du groupe II),
- 2 Modélisation et scénarios de stabilisation pour répondre à l'article 2 de la Convention,
- 3 Conséquences économiques et environnementales de la limitation des émissions (Groupe I, II et III),
- 4 Modèles climatologiques simples ; description et utilisation (sous la responsabilité du groupe I),
- 5 Impacts régionaux des changements climatiques (atelier aux Pays-Bas en septembre 1996),
- 6 Aspects méthodologiques et technologiques du transfert de technologie (sous la responsabilité du groupe II avec l'aide des groupes III et I) : analyse d'une large gamme d'arrangements qui ont conduit à des transferts de technologies (des accords commerciaux aux transferts favorisés par des aides gouvernementales ou multilatérales). Analyse des "capacity building", des réseaux d'information et de la formation pour aider à l'application des technologies.

Plusieurs actions et ateliers sont par ailleurs déjà programmés :

- 1 Préparation des scénarios climatiques régionaux pour le prochain rapport du GIEC<sup>15</sup> (atelier en septembre 1996),
- 2 Poursuite de l'amélioration des méthodologies pour effectuer les inventaires des émissions des gaz à effet de serre,
- 3 Evaluation des modélisations intégrées (atelier au Japon en mars 1997 et atelier contribuant à cette activité en France en octobre 1996 sous la conduite du groupe III avec des contributions des groupes I et II),
- 4 Mesures d'adaptation : atelier au Canada (date non définie) sous la conduite du groupe II.

Des actions complémentaires sont également envisagées :

- l'évaluation des technologies (en accroissant la participation des ONG et des industriels) en septembre 1996,
- la préparation du troisième rapport du GIEC,
- les impacts des mesures,
- la détection des changements climatiques.

### Le fonctionnement du GIEC et les divers rapports

Le bureau et les séances plénières du GIEC ont été en général constitués par des représentants de gouvernement. En 1991 il aurait suffi, comme le rapportait un observateur officiel, d'assez peu de changements parmi la soixantaine de délégations nationales présentes, lors de la 4<sup>ème</sup> réunion du groupe de travail III (Energie, Industries, Agriculture et Forêts et Zones

Côtières), pour se retrouver dans la formation du CIN. C'est dire l'importance des contrôles gouvernementaux dans les séances plénières du GIEC. En revanche les groupes de travail sont constitués essentiellement par des spécialistes assez peu habitués aux négociations internationales.

On peut distinguer trois niveaux de contribution ;

• **Le niveau 3, celui des rapports des trois groupes de travail.** Ils comportent de l'ordre de 2 000 pages et 10 000 références. Ces rapports ne seront malheureusement publiés qu'en anglais<sup>16</sup>. Cela représente un volume considérable et une masse d'informations intéressantes pour les décideurs spécialisés des différents domaines (secteurs agricoles, industriels énergétiques, transport, zones côtières, etc.). Ces rapports ont été soumis aux contre-expertises des gouvernements et de spécialistes, ainsi qu'à l'approbation du bureau du GIEC, après révisions et prise en compte des observations des contre-expertises. Nous incitons vivement les lecteurs à s'y reporter.

• **Le niveau 2, celui des rapports pour décideurs des groupes de travail I, II et III** publiés dans ces Cahiers<sup>17</sup>. Chacun de ces rapports a été examiné ligne à ligne, puis remanié profondément par des représentants désignés des gouvernements réunis pendant une semaine à Montréal en novembre 1996.

• **Le niveau 1, celui du rapport de synthèse générale pour les décideurs** (également publié dans

ces Cahiers de Global Chance<sup>17</sup>), mais qui a été l'objet d'après négociations à Rome en décembre 1995. A ce stade, les enjeux paraissent tels que les textes sont discutés presque aussi difficilement que dans les instances de négociation du CIN. On retrouve d'ailleurs à ce stade beaucoup de membres du CIN dont l'objectif est évidemment de faire le moins de concessions possibles... D'où, à notre avis, la grande pauvreté de contenu du texte final. Mais on peut penser que ces trois niveaux sont indispensables pour permettre une élaboration relativement sereine quoique complexe, des rapports beaucoup plus intéressants de base du niveau 3.

**Le GIEC est donc une instance hybride originale (scientifique et intergouvernementale) ayant cherché à marier la rigueur scientifique avec les besoins des décisions politiques au niveau planétaire, c'est à dire au sein des Nations Unies. Quand on connaît les pressions exercées par les différents pays dans les instances de négociation, comme le Comité Intergouvernemental de Négociation de la Convention sur le Climat auquel l'auteur de cette note a également participé, on mesure davantage l'intérêt d'une structure comme le GIEC pour essayer d'éclairer le débat sur cette question difficile. Une telle instance, quoique toujours critiquable, mais qui a mobilisé plus de 2 000 experts, reste alors indispensable. Elle a aussi favorisé le lancement de nouvelles recherches et amélioré la connaissance mutuelle du Nord et du Sud.**

Il m'apparait même souhaitable de s'inspirer du GIEC pour d'autres conventions internationales, comme la convention

sur la désertification, afin de pouvoir faire sereinement l'état des connaissances techniques, sociales, environnementales et

économiques ainsi que des conditions de mise en oeuvre et des conséquences des actions envisagées. ■

**Notes :**

- 1 IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change.
- 2 Comité Intergouvernemental de Négociation pour une Convention sur le Climat.
- 3 Extrait des rapports des sessions du GIEC en janvier et mars 1991.
- 4 Le président du PNUE Mostafa Tolba, Genève, Mars 1991.
- 5 Il est composé en 1993 :
  - (a) du président Bert Bolin (de l'Université de Stockholm en Suède), de deux vices présidents, le Dr Al Gain d'Arabie Saoudite et le professeur Izrael de la Fédération de Russie
  - (b) des coprésidents (en général un membre des pays industrialisés et un membre des pays en développement) des trois groupes de travail :
    - Pour le groupe I, Sir John Houghton (Grande Bretagne) et le Dr Meira Filho (Brésil) et des vices présidents : le Prof. Ding Yihui (Chine), le Dr H Grassl (Allemagne) et Mr Seck (Sénégal).
    - Pour le Groupe II, des co-président M R. Reinstein, Vice Ministre de l'Environnement aux Etats-Unis qui sera remplacé par Bob Watson venant de la Nasa, Directeur Adjoint du bureau de l'Environnement pour les politiques Scientifiques et Technologiques, qui deviendra de fait le président du groupe II. et du Dr M.C. Zinyowera, du service météorologique du Zimbabwe, et des coprésidents des sous groupe de travail ; le Dr Yokobori (Japon) qui devint président de la Conférence Mondiale pour l'Energie qui s'est tenue au Japon fin 1995 et le Dr Parbrahmam (Inde) pour le sous groupe A (voir note n°12). Le Dr Velinga (Pays-Bas) et Mme Marthya Perdomo (Vénézuéla) pour le sous groupe B, le Dr Beniston (Suisse) et le Dr Canziani (Argentine) pour le sous groupe C ; le Dr M. Petit du Ministère de l'Environnement de France et M. Hentati (Tunisie) pour le sous groupe D ;
    - Pour le groupe III, Mme Dodswell (Canada) - qui devint Présidente du PNUE - et le Dr Lee (République de Corée), et des vices présidents du groupes III, M. Odingo, Professeur de Géographie au Kenya et M. Hanish (Norvège), d'un représentant régional pour l'Afrique, le Dr Adejokum (Nigeria), l'Asie, le Dr H Nasrallah (Koweït), l'Europe, le Dr Bautista (Espagne), l'Amérique du Nord et Centrale, le Dr Fajardos Moros (Cuba), l'Amérique du Sud, le Dr Sabogal (Colombie) et le Sud Ouest du Pacifique, le Dr Mc Gregor Tegart (Australie).

•••

**Les cahiers de Global Chance**  
**BULLETIN D'ABONNEMENT**  
 pour un an (2 numéros)

NOM.....

ORGANISME (éventuellement) .....

ADRESSE .....

Code postal ..... Commune.....

Abonnement individuel : 100 F (35 F par numéro plus 15 F de frais d'envoi)

Abonnement de soutien individuel : 200 F

Abonnement d'institutions et d'organismes : 400 F

TOTAL..... F

Ci-joint un chèque à l'ordre de l'Association Global Chance

A facturer

Signature .....

Date.....

*Association Global Chance, 41 rue Rouget de Lisle, 92150 Suresnes*

• • •

- 6 On peut noter ici que les représentants des pays industrialisés et des grands pays du tiers monde comme la Chine, l'Inde et le Brésil avaient une représentation relativement constante, donc de personnes bien informées et impliqués dans les discussions. Pour les pays africains, on peut déplorer le fait que seulement quelques pays aient assuré une continuité dans la représentation et que ces derniers aient fait trop rarement appel aux compétences scientifiques existant pourtant déjà sur le continent africain.
- 7 Pour le groupe de travail II portant sur "les impacts, les adaptations et politiques de réduction des émissions", les experts scientifiques purent commenter le rapport entre le 6 décembre 1994 et le 9 janvier 1995 et les experts gouvernementaux, entre le 6 mars et le 28 avril 1995. Les pays étaient libres d'organiser ou non leurs propres séminaires ou ateliers pour évaluer les projets de rapports et donner leur avis.
- 8 Le seul disponible également en français. Tous les autres rapports sont en anglais.
- 9 C'est à dire publiées dans des revues à comités de lecture.
- 10 Compréhension des climats passés et présents, variabilités climatiques, facteurs affectant l'évolution des climats, progrès dans la modélisation et dans les modèles prédictifs des climats globaux, régionaux et du changement des niveaux des mers ; lacunes et incertitudes des connaissances actuelles.
- 11 Ce groupe III, pour la première rédaction du rapport était présidé par M. Bernthal des Etats Unis et coprésidé par M. Dowdeswell (Canada), M. Luo (Chine), M. D. Attar (Malte), M. P. Vellinga (Pays-Bas) et M. R. Karimanzira (Zimbabwe). Il comprenait alors quatre sous groupes ;
  - 1/ EIS Energie et Industrie, co-présidé par M. Yokobori (Japon) et M. Shao Xiong Xie (Chine)
  - 2/ Agriculture et forêts coprésidé par M. Kupfer (Allemagne) et M. Karanzira (Zimbabwe)
  - 3/ Zones côtières coprésidé par M. Gilbert (Nouvelle-Zélande) et M. P. Vellinga (Pays-Bas)
  - 4/ Gestion des ressources coprésidé par MM. Pentland (Canada), J. Theys (France) et I. Abrol (Inde) et deux coordinateurs des travaux sur les scénarios, le Dr Tirpark (Etats-Unis) et M. Vellinga (Pays-Bas) et des coordinateurs des mécanismes de mise en oeuvre de divers pays.
- 12 Quatre sous groupes A, B, C et D consacrés à différentes thématiques furent constitués ;
  - A** - les questions touchant à l'énergie, aux industries, aux villes et aux peuplements humains, à la qualité de l'air et à la gestion des déchets.
  - B** - les problèmes des petites îles et des zones côtières, les océans et les écosystèmes marins, les cyclones tropicaux et les tempêtes, la variation du niveau des mers.
  - C** - les ressources des zones non gérées (montagnes, cryosphère, hydrologie , impacts des crues.)
  - D** - les problèmes liés à l'agriculture, aux forêts, à la désertification et aux sécheresses, à la santé et à la gestion des eaux.
- 13 La prochaine réunion plénière du GIEC se tiendra les 11 et 12 septembre 1996 à Mexico. La nouvelle configuration du GIEC pour le troisième rapport sera décidée en octobre 1997.
- 14 A finaliser pour février 1997.
- 15 Troisième rapport à paraître en 2001.
- 16 IPCC "Second Assessment Report", Cambridge University Press, à paraître d'ici fin 1996 (Cambridge University Press, The Edimburg Building, Shaftesbury Road, Cambridge CB2 2RU, UK, tél. : 44 1223 325 970, fax : 44 1223 325 959).
- 17 La version définitive des rapports pour décideurs (rapports des groupes I, II et III et rapport de synthèse générale) devrait être disponible en anglais, arabe, chinois, espagnol, français et russe à partir de juin 1996 auprès du Secrétariat de l'IPCC, WMO, 41 av. Guisepe-Motta, C.P. N°2300, 1211 Geneva 2 SWITZERLAND.  
Tél. : 41 22 73 08 215/254/284 fax : 41 22 73 31 270  
E-mail : narasimhan.sundararaman@itu-ch  
Les documents sont également accessibles sur internet : <http://www.unep.ch/ipcc/ipcc95.html>



# Etat des connaissances scientifiques

## Y a-t-il des éléments nouveaux dans le rapport rédigé par le Groupe I de l'IPCC ?

### Interview de Jean Jouzel par Philippe Roqueplo

**J**ean Jouzel est Directeur de Recherches au CEA. Adjoint au Directeur du Laboratoire de Modélisation du Climat et de l'Environnement à Saclay, il a, aux côtés des chercheurs du Laboratoire de Glaciologie du CNRS à Grenoble, consacré une large part de son activité scientifique à la reconstruction du climat passé à partir de l'analyse des glaces de l'Antarctique et du Groënland. En particulier, il a contribué aux travaux qui ont permis, d'une part, de montrer le lien entre climat et effet de serre dans le passé et, de l'autre, de mettre en évidence l'existence de variations climatiques très rapides. Jean Jouzel s'est également intéressé à différents aspects liés à la

modélisation du climat. Il a participé à tous les travaux du groupe I de l'IPCC au double titre de scientifique choisi par le programme PAGES de l'IGBP<sup>1</sup> et de représentant du gouvernement français choisi par celui-ci. C'est pourquoi GLOBAL CHANCE a désiré que ce soit lui qui parle des travaux du groupe I. Afin de l'importuner le moins possible il a été décidé que je m'entretiendrais avec lui, ce qui fut fait le 12 avril.

Le statut de cette interview est le suivant : lorsque des passages sont écrits en italiques, il s'agit - à la reproduction de mes questions et des propos tenus par Jean Jouzel ; l'usage des caractères droits signifie que, tout en m'atta-

chant à respecter la pensée de J.J., je me suis écarté de sa formulation. Lorsque le texte en caractères droits est inséré entre les signes <et >, il s'agit de commentaires de ma part. De toute façon ce texte a été soumis à J.J., ce qui a suscité de sa part quelques commentaires : lorsqu'il a demandé une correction, celle-ci a été effectuée ; lorsqu'il proposait à son tour quelque commentaire, celui-ci a été écrit en italiques et inséré à son tour entre les signes <et >. L'organisation générale de l'interview a été conservée. Quant aux titres et sous-titres, ils sont de moi.

J'attire par ailleurs l'attention sur le fait qu'il ne s'agissait pas pour J.J. de décrire ce que la recherche

effectuée en 1995 a apporté de nouveau par rapport aux années précédentes. Le "nouveau" dont il va être ici question renvoie d'une part à 1990 (et non à 93 ou 94) et d'autre part à ce que qu'IPCC1 écrivait en 90 en fonction de recherches elles-mêmes antérieures.

### Un accroissement de la crédibilité

**J.J.** *Que disait le rapport 90 ? En gros : "le climat se réchauffe et les gaz à effet de serre augmentent mais on ne sait pas s'il y a une relation entre les deux."<sup>2</sup> En gros c'était cela : on était incapable de dire s'il y a une relation entre les deux. Le grand changement en 95, c'est : "le climat continue à chauffer et l'effet de serre continue à augmenter mais maintenant on a des arguments pour dire qu'il y a une relation - ou tout au moins une possibilité de relation - entre cette augmentation de la température et l'action de l'homme (l'augmentation des gaz à effet de serre)." Pour moi c'est le message essentiel de ce nouveau rapport.*

**Ph.R.** *Voulez-vous dire que l'on est aujourd'hui à même de vérifier expérimentalement le fait que le climat se réchauffe et que ce réchauffement résulte des émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines ?*

**J.J.** *Le fait que l'on commence à voir qu'il se passe quelque chose donne beaucoup de crédibilité aux prédictions et c'est cela le point important. Quant au contenu des prédictions, il n'a pas tellement changé depuis 90... Il a changé*

*parce qu'on tient compte par exemple des aérosols : c'est 2°C en moyenne à la fin du siècle prochain, c'est 50 cm pour les océans. Mais l'essentiel n'est pas là. Il est dans l'augmentation de la crédibilité. Pourquoi y a-t-il plus de crédibilité ? Tout d'abord on en sait plus sur la variabilité du climat : par exemple une des choses qui empêchait de dire il y a cinq ans qu'il y avait une relation entre effet de serre et climat, c'était le fait qu'on avait quand même du mal à placer les cent dernières années dans un contexte historique plus long ; maintenant on commence à avoir plus de données sur les derniers siècles et celui dans lequel nous vivons apparaît comme le plus chaud des six derniers. Ensuite il y a eu beaucoup d'améliorations du côté des modèles et surtout le pas principal est la prise en compte de l'effet des aérosols.*

### Une grande amélioration au niveau des modèles

**Ph.R.** *Quand vous dites qu'il y a une grande amélioration au niveau des modèles, voulez-vous dire qu'ils convergent davantage ?*

**J.J.** *Non ! Les modèles ne convergent pas davantage : le spectre de leurs réponses ne se concentre pas vers des valeurs uniques. Quand on regarde la sensibilité du climat - c'est-à-dire ce que donne un modèle dans le cas d'un doublement du CO<sub>2</sub> - la fourchette est toujours d'un facteur 3 dans les prévisions de sensibilité, allant de + 1°C à + 3,5°C.*

**Ph.R.** *Cela tient-il compte des nuages ?*

**J.J.** *Les incertitudes sur les nuages restent. Mais il faut bien voir que la fourchette de 1°C à 3,5°C intègre toutes les incertitudes du type de celles qui proviennent de la façon différente dont certains phénomènes comme les nuages, le cycle du carbone ou le cycle de l'eau sont pris en compte, avec pour chaque cas un certain nombre de simulations. Ce sont ces incertitudes qui sont prises en compte et intégrées lorsque l'on dit que l'augmentation moyenne sera de 2°C à la fin du siècle ou qu'elle se situera entre 1°C et 3,5°C.*

**Ph.R.** *Est-ce qu'on donne ici le même poids à tous les modèles ?*

**J.J.** *Non ! C'est vrai qu'ici le travail devient un peu à la louche. Mais même le 1 à 3,5, c'est plutôt des extrêmes. Il y a eu beaucoup de bagarres pour dire "Pourquoi 1 à 3,5°C et non pas 2,2°C ?". Mais, au bout du compte, qu'importent les virgules ? Il ne s'agit pas d'une moyenne ! De toute façon, la manière dont les phénomènes sont pris en compte s'améliore ; en particulier on utilise maintenant des modèles couplés océan-atmosphère qui sont les seuls, finalement, à être capables de simuler la variabilité du climat. Or il s'avère que cette variabilité du climat simulée de cette façon, c'est ça qui permet de juger si la variabilité observée est hors norme ou dans les normes. Pour moi il y a deux grands pas qui ont été fait depuis 5 ans : le premier est le couplage entre océan et atmosphère...*

**Ph.R.** *Avec pour l'océan des modèles multicouches ?*

**J.J.** Pour l'océan il peut y avoir des modèles très complexes. Des modèles avec multicouches. Des modèles de circulation générale de l'océan. C'est le premier point et c'est indispensable pour tenir compte de l'ensemble de la mobilité du climat. Le deuxième point, c'est qu'on tient compte maintenant des aérosols.

### L'effet de refroidissement des aérosols

**J.J.** Le fait qu'on tient maintenant compte des aérosols a permis d'apporter des éléments sur trois points.

A propos du réchauffement observé : auparavant ce réchauffement observé se trouvait être inférieur à celui que prédisaient les modèles sur la base de l'augmentation observée des gaz à effet de serre. On ne comprenait pas bien pourquoi ; maintenant on est en mesure de l'expliquer - au moins en partie - par l'effet refroidissement des aérosols.

**Ph.R.** Est-ce que ce n'est pas du tuning ? < Ce mot signifie que l'on tourne différents boutons - en l'occurrence, que l'on modifie certains paramètres - pour obtenir les résultats que l'on veut obtenir >.

**J.J.** Non pas trop ! De toute façon la prise en compte des aérosols a permis d'expliquer d'autres phénomènes comme la dissymétrie entre le Nord et le Sud : pourquoi l'hémisphère nord se réchauffe en fait moins que l'hémisphère sud ; et là on dispose d'une très bonne explication. Cela permet aussi d'expliquer pourquoi

le réchauffement est plus important - presque d'un facteur 3 - la nuit que le jour : tout simplement parce que l'effet de refroidissement des aérosols ne joue pas la nuit. Enfin, ce n'est qu'en tenant compte des aérosols qu'on peut expliquer le profil vertical des températures <de l'atmosphère>.

Tout cela fait largement partie du faisceau d'éléments dont il est question quand on dit : "un faisceau d'éléments suggère qu'il y a une influence perceptible de l'homme sur le climat global" <titre du 4ème paragraphe du "résumé pour décideurs"> ; il y a aussi le fait qu'il y a de plus en plus de données relatives au passé, le fait que le climat continue à chauffer... Cette phrase où l'on dit qu'il existe un faisceau d'éléments suggérant une influence perceptible de l'homme sur le climat global, constitue pour moi le point essentiel depuis 90. Si l'on considère les prédictions sur le climat, cela leur donne plus de crédibilité, mais en elles-mêmes elles ne sont pas magistralement changées par rapport au précédent rapport.

< Cette phrase, ("un faisceau d'éléments...") constitue l'un des titres du résumé pour décideurs, et J.J. a fortement insisté sur le fait qu'elle a été discutée mot à mot. Le texte anglais (seul officiel) en est : "the balance of evidence suggests a discernible human influence on global change" et une première traduction en français proposait le texte suivant : "l'ensemble des résultats avérés incline à penser qu'une influence humaine sur le climat est perceptible". Le moins que l'on puisse

faire, c'est d'en admirer les subtiles nuances !>

### L'éventualité de "surprises climatiques"

**J.J.** Il y a aussi une chose importante dans le nouveau rapport, c'est la notion de surprise climatique. Les prédictions dont je vous ai parlé et la marge de 1 à 3,5°C tiennent compte des incertitudes sur les cycles de l'eau, les nuages, le cycle du carbone... mais, par contre, elles ne tiennent pas compte d'éventuelles surprises climatiques. Si l'on commence à parler d'éventuelles surprises, c'est largement à cause des données du passé (en particulier celles du Groënland) qui ont montré qu'il y a eu des variations climatiques extrêmement rapides : 50 ans ou moins. Dans le passé il y a même des réchauffements qui se sont passés plus vite. Au centre de ce débat sur les variations rapides, on trouve le rôle de l'océan, la circulation océanique. Il semble que c'est cela qui dans le passé a joué un rôle dans de telles élévations du climat. Dans le futur cela peut jouer aussi un rôle : certaines simulations montrent qu'en cas de réchauffement il y aurait un changement du cycle hydrologique avec plus d'évaporation dans les zones chaudes tropicales, plus de transport dans les zones de haute latitude et une arrivée d'eau douce...

**Ph.R.** D'où une déviation du Gulf Stream et un refroidissement de l'Europe ?

**J.J.** Non ça c'est faux, c'est une chose qu'il ne faut pas dire.

Prenons l'exemple de la simulation faite par Manabe. Il montre que dans le cas d'un quadruplement du CO<sub>2</sub> (c'est beaucoup mais si on ne change rien on finira par y arriver !), il peut y avoir des changements de la circulation océanique : on trouve des réchauffement énormes dans les zones de haute latitude (12 à 16°C) et dans la zone de l'Atlantique nord un réchauffement moins important, mais il y a toujours des réchauffements (6, 8, 10°C) ; il n'y a pas de refroidissement. Je l'ai entendu dire, mais c'est faux. Il n'en est pas question. De toute façon ce n'est pas si simple : les variations locales peuvent être importantes. Evidemment ce n'est qu'une simulation et de plus c'est la seule qui ait été faite. Mais jusqu'ici il n'y a aucune simulation qui, à ma connaissance, montre un refroidissement, même si l'on met en évidence un changement de circulation océanique.

**Ph.R.** A propos de ces périodes, les aléas portent-ils davantage sur leur rapidité ou sur leur amplitude ?

**J.J.** Le problème c'est que dans le passé on sait que cela s'est passé très vite par modification brutales du cycle hydrologique : essentiellement l'arrivée d'énormes icebergs dans l'Atlantique. Or maintenant il n'y a plus de réserve d'iceberg. Ce qui peut remplacer leur rôle c'est une arrivée massive d'eau douce par transfert de vapeur, mais pour le moment je pense qu'il faut beaucoup plus de connaissances de l'océan pour que les modèles de circulation océanique puissent dire s'il est possible qu'une petite modifica-

tion du cycle hydrologique modifie réellement la circulation de l'océan.

En écrivant que "des fluctuations inattendues, rapides et de grande ampleur du système climatique (comme il s'en est produit dans le passé) sont difficiles à prévoir de par leur nature même", l'idée d'IPCC1 - il se trouve que c'est moi qui me suis battu pour que cette phrase figure dans le résumé pour les décideurs - est simplement de dire : "oui, on fait des prévisions, mais il faut faire attention : il y a des possibilités de surprise qu'on ne peut pas exclure". On ne va pas beaucoup au delà. Dans mon esprit cela ne signifie pas qu'il peut y avoir de bonnes surprises comme un refroidissement. Le problème n'est pas là. Ce que cela montre, c'est que le climat est encore plus fragile que ce que portent à penser les considérations sur le seul effet de serre. Cela ajoute au fait qu'on a intérêt à rester le plus près possible du climat actuel.

### La question du signal

**Ph.R.** On a beaucoup insisté sur le fait que maintenant on avait repéré le signal et que la terre s'était effectivement réchauffé de 0,6°C. Est-ce qu'il y a du neuf en ce domaine ?

**J.J.** Non ! S'il y a une chose qui n'a pas changé c'est bien ça. En 90 tout le monde était d'accord que le climat se réchauffait (0,5°C). Il a continué à se réchauffer ...

**Ph.R.** Mais on critiquait beaucoup les mesures de ce

changement, très biaisées par le fait qu'elles étaient faites près de villes...

**J.J.** Non. Tout ça a été étudié. Toutes corrections faites....

**Ph.R.** Quoi qu'il en soit la question du signal se pose et il m'a semblé lire que l'on demandait une simulation de ce signal. Quel va être le type d'événement qui va nous imposer la certitude d'un changement climatique ?

**J.J.** Ça, c'est l'objet de tout le chapitre 8 d'IPCC (la détection). Cela a été aussi l'essentiel de beaucoup des discussions au cours des réunions qui se sont tenues pendant deux ans et du résumé exécutif aussi. C'est vrai qu'il y a eu des progrès faits sur la détection : les modèles océan-atmosphère ont fourni des données sur les distributions verticales des températures, sur leurs distributions géographiques, leurs distributions saisonnières. C'est de ces travaux que vient cette phrase sur le faisceau d'éléments qui "suggère qu'il y a une influence perceptible de l'homme sur le climat".

Ceci dit l'IPCC a effectivement posé à ce groupe la question : "à partir de quand pourra-t-on dire non pas que cela suggère mais que l'on est certain que c'est l'homme qui modifie le climat" ? Le groupe a dit : on ne peut pas répondre à la question "à partir de quand ?". En effet la certitude est quelque chose de très difficile à avoir. Même être certain à 95%. Les gens n'ont pas voulu dire que l'on serait certain dans 10 ans du fait que l'effet de serre joue un rôle ou pas, ou dans 20 ans. L'idée c'est

que plus on va avancer plus on va avoir une idée de cette détection. Je pense que dans 10 ans, si l'effet de serre continue à augmenter, la fameuse phrase sur "le faisceau d'éléments suggérant que ..." sera plus forte. Elle sera plus forte tous les 5 ans.

**Ph.R.** Oui, mais quelle sera la forme du signal ? Est-ce que ce sera la fréquence des événements extrêmes ? Ou une valeur moyenne ?

**J.J.** En tout cas pas une valeur moyenne. La valeur moyenne en elle-même n'est pas un bon indicateur de détection. C'est pour cela que cette équipe a développé d'autres indicateurs largement basés sur les répartitions verticales, saisonnières et géographiques des événements. Pas simplement des événements extrêmes, mais des résultats observés.

**Ph.R.** Donc le signal ne sera jamais un signal perceptible à monsieur tout-le-monde.

**J.J.** Si ! Mais si les prédictions s'avèrent justes, la perception que les gens auront du changement sera différente d'une région à l'autre. Peut-être que pour nous, en France, une augmentation de 2 degrés ne sera pas tellement perceptible. Bien sur il y aura le déplacement des zones de végétation, mais les zones qui seront les plus touchées seront celles qui se trouvent à la limite des différents systèmes climatiques. Quand vous êtes au milieu d'un système climatique comme ici à Paris, c'est vrai que si ça se déplace un peu à gauche ou à droite ça ne sera pas

tellement perceptible. De toute façon ce chapitre 8 sur la détection est le plus important.

## Le niveau des mers.

**J.J.** Il n'y a rien de bien neuf sur cette question par rapport à 90. L'incertitude est énorme : ça va de 0,15 m à 0,95 m, et elle reste largement liée au rôle des calottes polaires. L'idée, c'est que si le climat se réchauffe, les précipitations devraient augmenter sur l'Antarctique qui devrait donc stocker une certaine quantité d'eau qui autrement contribuerait à augmenter le niveau de la mer. Au moins de façon transitoire cela ralentirait l'élévation du niveau de la mer. Mais ça, ça reste purement une hypothèse.

**Ph.R.** Si je peux me permettre de tirer une conclusion de ce que vous avez dit, je dirai que l'on a énormément fortifié la légitimité de l'alerte et de l'appel au principe de précaution.

**J.J.** Oui, ça c'est d'accord.

**Ph.R.** C'est déjà énorme. Mais est-ce que l'on progresse dans les outils que l'on peut proposer pour fonder des stratégies concrètes ?

**J.J.** Pour fonder des prédictions, non : les prédictions ne sont pas plus précises qu'il y a 5 ans.

**Ph.R.** Il semble qu'on ait abandonné le concept de Global Warming Potential<sup>3</sup>. En tout cas il ne figure pas dans le résumé pour les décideurs. Pourtant c'est important du point de vue politique puisque c'est là dessus que se font les grands arbitrages entre

activités économiques et par conséquent entre nations...

**J.J.** C'est vrai. Au chapitre 5 ils disent simplement que les GWP ne sont pas remis en cause.

<On en reste donc à la position du rapport de 1994 (the 1994 Report of the Scientific Assessment Working Group) qui considérait que, sous ce point de vue comparatif, les seuls gaz à prendre en considération étaient finalement le CO<sub>2</sub> et le méthane ; il était d'ailleurs proposé de référer la comparaison des différents gaz au réchauffement que l'on peut attendre non pas d'une tonne de plus, mais des quantités totales émises annuellement (le rythme des émissions retenu pour les différents gaz étant celui considéré comme "typique des années 80"). Sur un horizon de vingt ans, cela confère aux émissions mondiales de CO<sub>2</sub> et de méthane une responsabilité égale dans le réchauffement global du climat, la responsabilité du CO<sub>2</sub> étant environ trois fois plus grande que celle du méthane sur un horizon de 100 ans et le CO<sub>2</sub> restant pratiquement seul responsable sur un horizon de 500 ans.>

## Les prévisions régionales

**J.J.** En ce qui concerne les prévisions régionales, les gens continuent à dire qu'on est incapable d'en faire. On a confiance dans les prévisions globales avec une incertitude que l'on exprime <entre +1°C et +3,5°C> mais on a conscience que les prévisions régionales restent très difficiles à faire. Pour faire des prévisions régionales, il faut être capable de

prédire le fonctionnement de l'océan à long terme et ça les gens n'en sont pas capables. Le texte dit à propos de ces prévisions régionales que "la confiance reste faible" <"confidence remains low"> et l'on ne dit pas qu'elle deviendra grande.

**Ph.R.** C'est un coup dur pour les économistes !

**J.J.** Oui ! C'est un problème pour les économistes. Quelques scientifiques produisent des prévisions régionales ; mais même si, eux, savent les limites qu'elles ont, il n'en reste pas moins qu'ensuite les gens les utilisent et c'est très dangereux.

**Ph.R.** Vous avez le sentiments qu'ici les scientifiques sont de plus en plus prudents.

**J.J.** Ils sont très prudents sur les prédictions régionales. Tout le monde. Ecrire la phrase où il est dit que l'on n'a pas confiance en elles n'a posé aucun problème et tout le monde est conscient que dire cela correspond à ce qu'on attend des scientifiques.

**Ph.R.** On n'a donc pas beaucoup progressé quand il s'agit d'aider les politiques à déterminer ce qu'il faut faire.

**J.J.** On ne sait peut-être pas ce qu'il faut faire, mais on sait ce qu'il ne faut pas faire. Si on laisse les choses aller, cela va être dramatique : on arrivera rapidement à un triplement du CO<sub>2</sub>. Ici deux points sont importants : tout d'abord lorsqu'on dit que l'échauffement se situera entre 1 et 3,5°C la vision optimiste des

choses consiste à dire : "ça va être 1°C et on va s'adapter ; c'est facile !". Mais si c'est 3,5°C, c'est une catastrophe. Deuxième point : il faut quand même savoir que même si on arrivait à se stabiliser au niveau d'un doublement du CO<sub>2</sub>, il y a une inertie énorme - en particulier pour le niveau de la mer et même pour les températures - ce qui fait que les générations futures en prendront plein la figure ! De plus il faut bien voir que la fourchette 1-3,5°C, c'est en cas de stabilisation des concentrations de l'atmosphère au niveau 2 100 et cela ça demande déjà un effort énorme. C'est pourtant le minimum qu'on doit faire.

**Ph.R.** Stabilisation des émissions ou de l'atmosphère ?

**J.J.** Il s'agit bien de l'atmosphère. C'est en toutes lettres dans le texte. Par exemple : pour la stabiliser à 450 ppm < au lieu des 360 actuels > il faudrait revenir au niveau d'émission de 1990 dans 40 ans et avoir ensuite des niveaux plus faibles. Même si l'on voulait stabiliser à 1 000 ppm il faudrait toujours - et c'est ça qui est important - revenir au niveau des émissions de 1990 (dans 240 ans : on a plus de temps !), et maintenir ensuite un niveau d'émission plus faible que celui de 1990. Il faut donc bien voir que même pour se maintenir à ce niveau, il faut des niveaux d'émission qu'on a déjà dépassé depuis 90. On ne va donc pas vers une stabilisation. On peut évidemment penser que l'on parviendra à des niveaux acceptables, mais quand ?... On ne sait pas le dire. Ce qu'on sait, c'est ce qu'il ne

faut pas faire.

**Ph.R.** D'autant plus qu'on peut se trouver sur le haut de la fourchette et qu'il peut se produire les "surprises climatiques" dont vous avez parlé.

**J.J.** En effet !

### Quelques commentaires sur cette interview

(commentaires qui ont été soumis à Jean Jouzel)

1. Pour nous montrer ce qu'il y a de fondamentalement nouveau à ses yeux en 1995 par rapport à 1990, Jean Jouzel nous dit au début de cet entretien qu'en 1990 les scientifiques rédacteurs du résumé pour décideurs ne disposaient pas des éléments permettant d'affirmer qu'il existe une relation entre le réchauffement et les émissions de gaz à effet de serre imputables aux activités humaines. Or les rédacteurs de 1990 ont, dès le premier paragraphe de leur texte, explicitement déclarés "avoir la certitude" qu'une telle relation existait.

Ceci me conduit au commentaire suivant : du fait même qu'ils s'adressent aux décideurs, les scientifiques - fonctionnant dès lors comme expert - sont contraints de hiérarchiser leurs assertions selon leur degré de fiabilité. D'où le classement effectué dans le texte de 1990 : "nous avons la certitude que...", "les calculs nous donnent la conviction que...", "en nous fondant sur les résultats que donnent les modèles actuels, nous prévoyons ce qui suit..." et enfin, malgré "l'insuffi-

sance de nos connaissances ... nous estimons que...". Sauf erreur de ma part, pas une seule fois ils ne disent : "nous savons que". Jean Jouzel ne faisait pas alors partie du groupe en charge de rédiger ce "résumé pour décideur". Disons : en charge de l'expertise. Je serais dans ces conditions enclin à penser que ceci explique la manière dont il insiste sur l'insuffisance des bases scientifiques de l'expertise exprimée en 1990, ce qui le conduit à insister fortement sur le progrès des connaissances qui justifient la conviction des experts : la crédibilité s'en est aujourd'hui considérablement consolidée, et c'est même en cela que Jean Jouzel semble voir l'essentiel de la "nouveau" entre 90 et 95.

J'ai soumis cette interprétation à J.J. Il m'a dit ne pas être en désaccord, mais à une condition : c'est d'insister sur le fait que la conviction des experts se trouve en 1995 effectivement considérablement fortifiée en raison de l'accroissement de crédibilité des modèles, accroissement de crédibilité qui résulte lui-même pour une grande part du fait que la relation entre les émissions humaines et l'échauffement - d'ores et déjà observé - du climat est désormais manifeste.

2. Je repère d'ailleurs que J.J. considère que cette crédibilité sera

probablement de plus en plus forte et que l'on pourra donc faire un commentaire proche du sien à chaque rédaction nouvelle du rapport IPCC.

3. D'une certaine façon cela signifie que la crédibilité d'une expertise n'est jamais absolue, d'où sa question : qu'est-ce qu'une certitude dans un tel domaine ?

4. Si je comprends bien, cette question a donné lieu à débat lors de la rédaction du texte. Il s'est agi pour les rédacteurs de ne pas paraître plus certains qu'ils n'étaient. Cela apparaît d'une façon étonnante dans le titre (intraduisible et dont Jean Jouzel souligne qu'il a été discuté "mot à mot") du 4ème paragraphe du texte : *"the balance of evidence suggests a discernible human influence on global change"*. "A balance of evidence" ? "Suggests" ? "A discernible human influence"... Cette fois-ci, on ne reprochera pas aux experts d'être formels !

5. J'en viens alors au contenu : Cette interview montre que les experts de l'IPCC sont de plus en plus convaincus qu'un risque très grave existe mais ils semblent insister sur le fait qu'ils se font de moins en moins d'illusion quant à leur capacité d'offrir aux politiques des outils (Global Warming Potentials, prévisions régionales, détection du signal) susceptibles

de les aider à déterminer ce qu'il faut faire. Cela revient en quelque sorte à faire puissamment appel au principe de précaution, sans proposer de stratégie positive précise pour mettre en pratique cette précaution.

6. J'ajouterai : telle est la situation générale. Nucléaire, pollution des sols, vaches folles, avenir des forêts, avenir du climat, avenir des nappes phréatiques : chaque fois nous entendons dire "casse cou", mais ce cri d'alerte retentit dans une sorte de paralysie décisionnelle qui ne résulte nullement de la seule lâcheté des politiques, mais aussi de ce que nous ne savons pas toujours ce qu'il faudrait faire que nous puissions effectivement faire. Bien entendu de nombreuses mesures sont prises dans chacun de ces domaines ; mais on peut légitimement douter que l'efficacité de ces mesures soit à la hauteur des menaces environnementales ou sanitaires auxquelles il s'agit de faire face. Tel est au moins le cas dans le domaine du climat. Si l'on place la barre au niveau de l'ampleur de ces diverses menaces, nous sommes de plus en plus confrontés à une situation sociétale d'alerte tous azimuts et d'impuissance générale. Le récent "résumé pour décideurs" d'IPCC1 me semble directement s'inscrire dans cette double perspective. ■

#### Notes :

- 1 PAGES (Past Global Changes) est l'un des projets du Programme International Géosphère - Biosphère (IGBP en anglais). Il concerne l'étude des changements globaux en particulier au cours du dernier cycle climatique.
- 2 Cette affirmation de J.J. relative au rapport de 90 m'a surpris, étant donné ce qui est écrit dès les premières lignes du "résumé directif" dudit rapport : *"Nous avons la certitude que ... les émissions dues aux activités humaines accroissent sensiblement la concentration dans l'atmosphère des gaz à effet de serre... Cette augmentation renforcera l'effet de serre."*

*intensifiant le réchauffement général de la surface terrestre.” J’ai fait part de mon étonnement à J.J. qui m’a renvoyé à un autre paragraphe du rapport de 1990 : “Nous estimons que la température globale moyenne de l’air en surface a augmenté de 0,3°C à 0,6°C au cours des 100 dernières années, les cinq dernières années marquées par la moyenne globale la plus chaude se situant au cours des années 80.... La valeur de ce réchauffement concorde dans l’ensemble avec les prévisions fondées sur les modèles du climat, mais elle est aussi du même ordre de grandeur que la variabilité naturelle du climat. Par conséquent, l’augmentation observée pourrait être due en grande partie à cette variabilité naturelle”.*

Ces deux citations du rapport de 1990 semblent se contredire, mais il n’en est rien parce qu’elles ne parlent pas de la même chose : dans la première les experts se déclarent certains qu’il existe un lien entre les émissions humaines de gaz à effet de serre et le climat et que celui-ci ne peut que se réchauffer si ces émissions continuent. Dans la seconde, il s’agit d’interpréter le réchauffement d’ores et déjà observé ; sur ce point les experts sont prudents : selon eux l’on est pas à même de prouver que ce réchauffement observé ne s’inscrit pas dans les aléas climatiques naturels. C’est précisément sur ce point que, selon J.J., le rapport de 1995 apporte quelque chose de nouveau et de fondamental.

- 3 Global Warning Potential (GWP) : potentiel de réchauffement global. Le GWP d’un gaz déterminé (comme le méthane) exprime le réchauffement global à long terme que l’on peut attendre de l’émission d’un tonne de ce gaz, ce réchauffement étant lui même exprimé par comparaison à celui que l’on peut attendre de l’émission d’une tonne de CO<sub>2</sub>.



# Aspects scientifiques de l'évolution du climat

## *Résumé à l'intention des décideurs*

**Groupe de travail I du GIEC**

(Version provisoire du texte officiel)

Depuis 1990, les connaissances en matière de changement climatique<sup>1</sup> ont considérablement progressé et se sont enrichies de nouvelles données et analyses.

### **1. La concentration de gaz à effet de serre continue d'augmenter**

L'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre depuis l'époque préindustrielle (c'est-à-dire depuis 1750 environ) a conduit à un *forçage radiatif*<sup>2</sup> du climat qui tend à réchauffer la surface du globe et à produire d'autres changements climatiques.

- Un accroissement notable de la teneur atmosphérique des gaz à effet de serre a été observé, notamment du gaz carbonique (CO<sub>2</sub> : accroissement de 30 % environ), du méthane (CH<sub>4</sub> : 145 % environ) et du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O : 15 % environ) (chiffres de 1992). Cette évolution est largement

imputable aux activités humaines et, pour l'essentiel, à l'utilisation de combustibles fossiles, à la modification de l'utilisation des sols, et à l'agriculture.

- L'accroissement des concentrations de CO<sub>2</sub>, de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O s'est ralenti au début des années 90. Cette variation apparemment naturelle n'est, à ce jour, pas complètement expliquée mais des données récentes indiquent que le rythme d'accroissement actuel est comparable à celui observé en moyenne pendant les années 80.

- Le forçage radiatif direct imputable aux gaz à effet de serre à durée de vie longue (2,45 Wm<sup>-2</sup>) est dû essentiellement à l'accroissement de la concentration de CO<sub>2</sub> (1,56 Wm<sup>-2</sup>), de CH<sub>4</sub> (0,47 Wm<sup>-2</sup>), et de N<sub>2</sub>O (0,14 Wm<sup>-2</sup>) (chiffres de 1992).

- De nombreux gaz à effet de serre restent très longtemps dans l'atmosphère (de plusieurs dizaines d'années à plusieurs siècles pour le CO<sub>2</sub> et le N<sub>2</sub>O); ils influent sur le forçage radiatif sur des échelles de temps longues.

- Le forçage radiatif direct lié à l'action combinée des CFC et des HCFC totalise  $0,25 \text{ Wm}^{-2}$ . Le forçage radiatif *net* qui leur est imputable est, cependant, réduit de  $0,1 \text{ Wm}^{-2}$  environ, car ces gaz produisent une diminution de l'ozone stratosphérique qui induit un forçage radiatif négatif.

- L'accroissement de la concentration de CFC s'est ralenti et est pratiquement nul. Ceci n'est pas le cas des HCFC. On s'attend à ce que les concentrations de CFC et de HCFC - ainsi que la diminution d'ozone que ces gaz occasionnent - diminuent sensiblement d'ici 2050 grâce à l'application du Protocole de Montréal et aux amendements et ajustements qui lui ont été apportés.

- Jusqu'à présent, certains gaz à effet de serre à durée de vie longue (particulièrement les HFC - gaz de remplacement des CFC - les PFC et le  $\text{SF}_6$ ) contribuent peu au forçage radiatif. Cependant, l'accroissement de leur concentration pourrait conduire à une augmentation du forçage radiatif de quelques pourcents au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

- Si les émissions de gaz carbonique se maintenaient approximativement à leur niveau actuel (1994), la concentration de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère s'élèverait de façon pratiquement constante pendant au moins 200 ans. Elle atteindrait 500 ppmv environ à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, soit près du double de la concentration de 280 ppmv observée avant l'ère industrielle.

- Les modèles du cycle du carbone indiquent que la teneur de l'atmosphère en  $\text{CO}_2$  ne pourrait se stabiliser - autour de 450, 650 ou 1000 ppmv - que si les émissions de  $\text{CO}_2$  d'origine humaine revenaient au niveau de 1990 d'ici respectivement 40, 140 ou 240 ans, et si elles diminuaient nettement au-dessous de ce niveau par la suite.

- La stabilisation des concentrations dépendra davantage des émissions cumulées de  $\text{CO}_2$  d'origine humaine au moment de la stabilisation que de l'évolution de ces émissions d'ici que celle-ci soit atteinte. Ceci implique que, si les émissions restent plus élevées dans un premier temps, il faudra, pour obtenir la stabilisation des concentrations à un certain niveau, les réduire davantage ultérieurement. Selon certains des scénarios envisagés, les émissions anthropiques cumulées de 1991 à 2100 devront s'établir à 630, 1 080 ou 1 410  $\text{GtC}^3$  pour que les concentrations se stabilisent à 450, 650 ou 1000 ppmv respectivement (à plus ou moins 15 % dans chaque cas). A titre de comparaison les émissions cumulées correspondantes variaient de 770 à 2190  $\text{GtC}$  dans les scénarios IS92 du GIEC.

- La stabilisation des concentrations de  $\text{CH}_4$  et de  $\text{N}_2\text{O}$  aux niveaux actuels exigerait une réduction des émissions anthropiques de 8 et 50 % respectivement.

- Il apparaît que, dans l'hémisphère Nord, la concentration d'ozone troposphérique due aux activités humaines s'est accrue depuis l'ère préindustrielle entraînant un forçage radiatif positif. Ce forçage, encore mal caractérisé, est évalué à environ  $0,4 \text{ Wm}^{-2}$  (dont 15 % imputables aux gaz à effet de serre à durée de vie longue). Cependant, les observations effectuées au cours des dix dernières années indiquent que cet accroissement s'est nettement ralenti ou, même, qu'il s'est arrêté.

## 2. Les aérosols d'origine humaine ont tendance à produire un forçage radiatif négatif

- Les aérosols (particules microscopiques en suspension dans l'air) troposphériques provenant de la combustion des combustibles fossiles, de la biomasse, et de d'autres sources, ont entraîné un forçage négatif direct d'environ  $0,5 \text{ Wm}^{-2}$  en moyenne globale, et, probablement, un forçage négatif indirect d'une valeur comparable. Bien que ce forçage négatif soit concentré dans certaines régions et zones subcontinentales, il se pourrait qu'il ait des incidences climatiques aux échelles continentale à hémisphérique.

- A l'échelle locale, le forçage négatif imputable aux aérosols est parfois supérieur au forçage positif dû aux gaz à effet de serre.

- Contrairement aux gaz à effet de serre à durée de vie longue, les aérosols d'origine humaine ont une durée de vie très courte dans l'atmosphère. C'est pourquoi le forçage radiatif qui leur est imputable suit rapidement l'augmentation ou la diminution des émissions.

## 3. Le climat a évolué depuis le siècle dernier

En un point donné, les fluctuations interannuelles du climat peuvent être considérables, mais l'analyse de données, météorologiques ou autres, sur de large régions et pour des périodes de quelques décennies ou plus, laissent apparaître d'importantes variations systématiques.

- En moyenne globale, la température de surface a augmenté de  $0,3$  à  $0,6^\circ\text{C}$  environ depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Les données recueillies depuis 1990 et

les nouvelles analyses effectuées depuis n'ont pas modifié les estimations de cette augmentation de température.

- Les années récentes ont été parmi les plus chaudes depuis 1860 (début de la période d'instrumentation), et ce malgré l'effet de refroidissement dû à l'éruption volcanique du mont Pinatubo en 1991.
- Les températures nocturnes ont généralement augmenté davantage que les températures diurnes.
- Des modifications sont également observés à l'échelle régionale. Par exemple, c'est dans les régions continentales des latitudes moyennes, en hiver et au printemps, que le réchauffement climatique récemment observé a été le plus prononcé, avec un refroidissement dans certaines zones telles que l'Atlantique Nord. La quantité des précipitations s'est accrue sur les continents aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord, surtout pendant la saison froide.
- En moyenne globale, le niveau de la mer s'est élevé de 10 à 25 cm au cours des cent dernières années. Ce phénomène est imputable en grande partie à l'augmentation de la température moyenne du globe.
- Les données dont on dispose sont insuffisantes pour déterminer si des fluctuations de la variabilité du climat ou des conditions météorologiques extrêmes se sont produites à l'échelle globale au cours du XX<sup>e</sup> siècle. A l'échelle régionale, il existe des indications claires de l'évolution de certaines conditions extrêmes et de certains indicateurs de la variabilité du climat (par ex. une diminution de la fréquence du gel dans diverses grandes régions et, aux Etats Unis, une augmentation de la proportion des chutes de pluie dues à des phénomènes extrêmes). Certains de ces changements semblent indiquer une augmentation de la variabilité du climat, d'autres une diminution.
- La période chaude et persistante du phénomène *El Niño* -Oscillation australe - phénomène à l'origine de sécheresses et d'inondations dans de nombreuses régions - observée entre 1990 et la mi-1995 a été inhabituelle par rapport à la situation au cours des 120 dernières années.

#### **4. Un faisceau d'éléments suggère qu'il y a une influence perceptible de l'homme sur le climat global**

Toute influence de l'homme sur le climat se superpose au "bruit de fond" représenté par sa variabilité naturelle. Celle-ci résulte aussi bien de fluctuations internes que de causes externes telles que de la varia-

bilité de l'activité solaire ou les éruptions volcaniques. Les études de détection et d'attribution s'efforcent d'établir une distinction entre les influences naturelles et celles qui relèvent de l'homme. La "détection" est l'opération consistant à démontrer qu'un changement climatique observé est hautement inhabituel au sens statistique. Cette opération ne vise pas à déterminer les motifs du changement. L'"attribution" est l'opération consistant à établir des relations de cause à effet et notamment à contrôler le bien fondé de différentes hypothèses plausibles.

Depuis la parution du Rapport de 1990 du GIEC, la distinction entre les influences naturelles qui s'exercent sur le climat et celles qui relèvent de l'homme a considérablement progressé. De tels progrès ont été accomplis en tenant compte de l'effet des aérosols soufrés en plus de celui des gaz à effet de serre. Ceci a permis d'aboutir à une évaluation plus réaliste du forçage radiatif dû aux activités humaines. Ces effets ont été intégrés dans des modèles climatiques pour obtenir des simulations plus complètes du 'signal' climatique d'origine anthropique. En outre, des renseignements précieux sur la variabilité naturelle interne du climat, à des échelles de temps allant de la décennie au siècle, ont été obtenus grâce à de nouvelles simulations par des modèles couplés océan-atmosphère. D'autres progrès sensibles ont été réalisés en passant de l'étude des changements en moyenne globale à une comparaison des caractéristiques spatiales et temporelles entre les changements climatiques modélisés et observés.

Les résultats les plus importants obtenus en matière de détection et d'attribution sont les suivants.

- Selon les informations limitées fournies par différents indicateurs climatiques, la température de l'air, en moyenne globale, est au moins aussi élevée au XX<sup>e</sup> siècle qu'elle ne l'a été à toute autre époque entre la période actuelle et 1400 apr. J.-C. Les données antérieures à 1400 sont trop fragmentaires pour permettre une évaluation fiable de la température moyenne du globe.
- Pour déterminer la signification statistique de l'évolution de la température moyenne globale au cours du siècle dernier, il a été fait appel à de nouvelles évaluations de la variabilité naturelle du climat, qu'elle soit interne ou forcée par des processus externes. Ces évaluations sont fondées sur des mesures, sur des données paléoclimatiques, sur les résultats obtenus à partir de modèles climatiques simples ou complexes, et sur des modèles statistiques appliqués aux observations. La plupart de ces études

ont permis de détecter des changements significatifs démontrant que la tendance au réchauffement observée n'est vraisemblablement pas uniquement d'origine naturelle.

- Les indications récentes les plus convaincantes de l'influence de l'homme sur le climat viennent de la comparaison des caractéristiques - géographiques, saisonnières et verticales - des changements de températures prédits, en tenant compte de l'effet combiné des gaz à effet de serre et des aérosols soufrés d'origine anthropique, d'une part, et observés, de l'autre. Ces études montrent que la concordance entre ces caractéristiques s'améliore progressivement, comme on peut s'y attendre, à mesure que le signal d'origine anthropique s'intensifie. Il existe, en outre, une très faible probabilité pour qu'une telle concordance se produise par hasard, comme le résultat de la seule variabilité interne et naturelle du climat. De plus, le profil vertical du changement observé ne correspond pas à celui attendu pour les forçages solaire et volcanique.

- Notre capacité à mesurer l'influence de l'homme sur le climat global reste limitée car le signal attendu est encore difficile à distinguer du bruit de fond lié à la variabilité naturelle, et à cause d'incertitudes sur divers facteurs importants. Ces incertitudes ont trait à l'ampleur et aux caractéristiques de la variabilité naturelle à long terme, de l'évolution temporelle du forçage lié aux gaz à effet de serre, aux aérosols et aux changements à la surface des continents, et de la réponse à ce forçage. Malgré ces incertitudes, le faisceau d'éléments disponibles suggère qu'il y a une influence perceptible de l'homme sur le climat global .

### 5. On s'attend à ce que le climat continue d'évoluer

Le GIEC a élaboré une série de scénarios, concernant l'évolution future des émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols (IS92a à f). Ces scénarios reposent sur certaines hypothèses concernant la croissance démographique et économique, l'exploitation des sols, les progrès technologiques et l'approvisionnement énergétique, ainsi que de la façon dont les différentes sources d'énergie contribueront à cet approvisionnement entre 1990 et 2100. A partir de la connaissance du cycle global du carbone et la chimie de l'atmosphère, ces émissions peuvent être prises en compte pour prévoir la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre et des aérosols

ainsi que la perturbation induite par rapport au forçage radiatif naturel. Les modèles climatiques peuvent être alors utilisés pour prédire l'évolution future du climat.

- Les simulations de plus en plus réalistes des climats, passé et actuel, obtenues à partir de modèles climatiques dans lesquels l'atmosphère et l'océan sont couplés donnent davantage confiance dans leur capacité à prédire l'évolution future du climat. Il reste de grandes incertitudes mais celles-ci ont été prises en compte dans l'ensemble des projections de la température moyenne globale et du niveau de la mer.

- Dans l'hypothèse du scénario moyen du GIEC (IS92a), avec la "valeur la plus probable" de la sensibilité du climat<sup>4</sup> et la prise en compte de l'incidence de l'augmentation prévue de la concentration d'aérosols, l'augmentation prédite de la température moyenne globale à la surface est d'environ 2 deg.C entre 1990 et 2100. Cette valeur est d'un tiers inférieure environ à la "valeur la plus probable" déterminée en 1990. Une telle différence est due essentiellement au plus faible niveau d'émissions prévu par le scénario (en particulier pour le CO<sub>2</sub> et les CFC), à l'incorporation du refroidissement par les aérosols soufrés et à l'amélioration du traitement du cycle du carbone. Le scénario le plus bas du GIEC (IS92c), avec une "faible" valeur de la sensibilité du climat et la prise en compte de l'incidence de la progression prévue de la concentration d'aérosols, conduit à prédire un réchauffement d'environ 1 deg.C en 2100. Le scénario le plus élevé du GIEC (IS92e) et une valeur "élevée" de la sensibilité du climat, conduisent à prédire un réchauffement de 3,5 deg.C environ. Dans tous les cas de figure, la rapidité du réchauffement serait probablement plus élevée qu'il ne l'a été à toute autre période depuis 10 000 ans; cependant, à l'échelle de 1 - 10 ans, l'évolution du climat serait marquée par une variabilité naturelle importante. Les fluctuations régionales des températures pourraient être sensiblement différentes de la moyenne globale. En raison de l'inertie thermique des océans, la température n'aurait, en 2100, progressé vers son point d'équilibre que de 50 à 90 %; elle continuerait d'augmenter au-delà de cette date, même si la concentration de gaz à effet de serre s'était alors stabilisée.

- Une élévation du niveau moyen de la mer est prévue en raison du réchauffement des océans et de la fonte des glaciers de montagne et des calottes glaciaires. Dans l'hypothèse du scénario moyen du GIEC (IS92a), avec les "valeurs les plus probables" de la sensibilité du climat et de la fonte des glaces au

réchauffement, et la prise en compte de l'incidence de la progression prévue des aérosols, une élévation du niveau de la mer d'environ 50 cm est prédite entre aujourd'hui et 2100. Cette valeur est inférieure de 25 % environ à la "valeur la plus probable" déterminée en 1990, en raison d'une augmentation de température prédite plus faible, mais aussi de l'amélioration des modèles climatiques et cryosphériques. Dans l'hypothèse du scénario le plus bas du GIEC (IS92c), avec des "faibles" valeurs de la sensibilité du climat et de la fonte des glaces au réchauffement et la prise en compte de l'incidence des aérosols, la prédiction d'élévation du niveau de la mer est de 15 cm environ entre aujourd'hui et 2100. Dans l'hypothèse du scénario le plus élevé du GIEC (IS92e), avec des valeurs "élevées" de la sensibilité du climat et de la fonte des glaces, on aboutit à une élévation du niveau de la mer de 95 cm environ entre aujourd'hui et 2100. Le niveau de la mer continuerait de s'élever à une allure semblable au-delà de cette date, même si la concentration de gaz à effet de serre s'était alors stabilisée. Il continuerait de s'élever après que la température moyenne globale se soit stabilisée. A l'échelle régionale, les fluctuations du niveau de la mer pourraient être différentes de la moyenne globale en raison de mouvements de terrain et de changements dans les courants océaniques.

- Les projections obtenues avec des modèles couplés océan-atmosphère sont plus fiables aux échelles hémisphérique ou continentale qu'à l'échelle régionale. On se fie davantage aux prévisions concernant la température qu'à celles concernant le cycle hydrologique.
- Toutes les simulations climatiques, qu'elles tiennent compte du forçage dû à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre et des aérosols ou uniquement du forçage dû à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre, ont les caractéristiques suivantes : augmentation de la température de surface plus importante sur terre que sur mer en hiver ; augmentation de la température de surface maximale dans les latitudes élevées de l'hémisphère Nord en hiver ; faible augmentation de la température de surface dans l'Arctique en été ; intensification de cycle hydrologique en moyenne globale et accroissement de la quantité des précipitations et de l'humidité du sol dans les latitudes élevées en hiver. Toutes ces fluctuations s'expliquent par des mécanismes physiques identifiables.
- En outre, la plupart des simulations, indiquent un affaiblissement de la circulation thermohaline dans

l'Atlantique Nord et une réduction largement répandue de l'amplitude thermique diurne. Ces caractéristiques s'expliquent également par des mécanismes physiques identifiables.

- Les effets directs et indirects des aérosols anthropiques ont des incidences sensibles sur les prévisions. En général, celles-ci indiquent des fluctuations de température et de précipitations de plus faible amplitude si l'on tient compte des effets des aérosols, en particulier dans les latitudes moyennes de l'hémisphère Nord. On notera que l'effet de refroidissement dû aux aérosols, loin de compenser simplement le réchauffement dû aux gaz à effet de serre, a d'importantes répercussions sur certaines caractéristiques des changements climatiques à l'échelle continentale, particulièrement apparentes dans l'hémisphère d'été. Par exemple, les prévisions obtenues à partir de modèles tenant uniquement compte des effets des gaz à effet de serre indiquent un accroissement de la hauteur des précipitations et de l'humidité du sol dans la région de la mousson d'été asiatique, alors que celles obtenues à partir de modèles tenant également compte des effets des aérosols indiquent une possibilité de diminution des pluies de mousson. La répartition spatiale et temporelle des aérosols influe largement sur les projections à l'échelle régionale, ce qui contribue à augmenter les incertitudes liées à ces projections.
- Un réchauffement global devrait conduire à une augmentation du nombre de journées très chaudes et à une diminution du nombre de journées très froides.
- L'élévation des températures entraînera le renforcement du cycle hydrologique, d'où un risque d'aggravation des sécheresses et/ou des inondations à certains endroits et une possibilité de diminution de l'ampleur de ces phénomènes à d'autres endroits. Plusieurs modèles prévoient une augmentation de l'intensité des précipitations, ce qui pourrait conduire à une recrudescence de chutes extrêmes de pluie. Nos connaissances sont insuffisantes à ce jour pour que l'on puisse prévoir si le nombre ou la répartition géographique de fortes tempêtes telles que les cyclones tropicaux vont se modifier.
- Une évolution rapide et soutenue du climat pourrait modifier l'équilibre de la concurrence entre espèces et même entraîner un dépérissement des forêts, d'où une altération de la quantité de carbone absorbée et dédagée par les biomes terrestres. L'importance de cette altération est incertaine, mais elle pourrait, selon le rythme d'évolution du climat, se situer entre 0 et 200 GtC au cours des 100 ou 200 prochaines années.

## 6. Les incertitudes restent nombreuses

Actuellement, de nombreux facteurs limitent notre capacité à prévoir et à détecter les changements climatiques à venir. Pour réduire les incertitudes, il convient d'approfondir les connaissances dans les domaines prioritaires suivants :

- évaluation des futures émissions et des cycles biogéochimiques, des gaz à effet de serre (y compris les sources et les puits), des aérosols et des précurseurs d'aérosols ; de leur concentration future et de leurs propriétés radiatives ;
- prise en compte des processus climatiques dans les modèles, et notamment des rétroactions liées aux nuages, aux océans, à la glace de mer et à la végétation, afin d'affiner les projections concernant la rapidité et les caractéristiques régionales des changements climatiques ;
- collecte à long terme et systématique d'observations directes et reconstitution, à partir d'indicateurs indirects de leurs variations dans le passé, de certains paramètres du système climatique (énergie solaire,

éléments du bilan énergétique de l'atmosphère, cycle hydrologique, caractéristiques des océans et changements des écosystèmes, etc.) afin de vérifier la validité des modèles, d'évaluer la variabilité de ces paramètres dans le temps et à l'échelle régionale, et de les utiliser dans le cadre d'études de détection et d'attribution.

Des fluctuations inattendues, rapides et de grande ampleur du système climatique (comme il s'en est produit par le passé) sont difficiles à prévoir de par leur nature même. La future évolution du climat risque donc de nous réserver des "surprises", dues notamment au caractère non linéaire du système climatique. En cas de forçage rapide, les systèmes non linéaires sont particulièrement susceptibles de comportements inattendus. Il est possible de réaliser des progrès en étudiant les processus et les composantes non linéaires du système climatique. On peut citer, parmi ces phénomènes non linéaires, les fluctuations rapides de la circulation dans l'Atlantique Nord et les rétroactions liées aux modifications des écosystèmes terrestres. ■

### Notes

- 1 Par « changement climatique », le Groupe de travail I du GIEC entend toute évolution du climat dans le temps, qu'elle soit due à la variabilité naturelle ou aux activités humaines. Cette définition est différente de celle de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, où l'on entend par "changements climatiques" des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine, qui modifient la composition de l'atmosphère globale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables.
- 2 Unité simple permettant de mesurer l'ampleur d'un mécanisme susceptible de conduire à un changement climatique, le forçage radiatif est la perturbation du bilan énergétique du système sol-atmosphère (exprimée en  $Wm^2$ ).
- 3 1 GtC = 1 milliard de tonnes de carbone
- 4 Dans les rapports du GIEC, la sensibilité du climat désigne généralement la variation à long terme (du point d'équilibre) de la température moyenne globale à la surface à la suite d'un doublement de la concentration atmosphérique de  $CO_2$ . De façon plus générale, elle désigne la variation du point d'équilibre de la température de l'air en surface à la suite de la variation d'une unité de forçage radiatif ( $^{\circ}C/Wm^2$ ).

### Auteurs/Contributeurs

Dieter H. Ehhalt, Allemagne; Martin Heimann, Allemagne; E. Detlef Schulze, Allemagne; Osvaldo Sala, Argentine; Ian G. Enting, Australie; Graham Farquhar, Australie; Paul Fraser, Australie; Ann Henderson-Sellers, Australie; Harvey Marchant, Australie; Bryant J. McAvaney, Australie; Neville Nicholls, Australie; Neville Smith, Australie; John Zillman, Australie; Diogenes Alves, Brésil; Pedro L. Silva Dias, Brésil; Gylvan Meira Filho, Brésil; George Boer, Canada; K.L. Denman, Canada; Gordon A. McBean, Canada; M.A. Pe, Canada; Andrew J. Weaver, Canada; Ding Yihui, Chine; Qing-Cun Zeng, Chine; Xiuji Zhou, Chine; Daniel L. Albritton, États-Unis; Ebby Anyamba, États-Unis; Tim P. Barnett, États-Unis; Robert Charlson, États-Unis; Robert E. Dickinson, États-Unis; W. Lawrence Gates, États-Unis; Filippo Giorgi, États-Unis; Eileen E. Hofmann, États-Unis; Tom Karl, États-Unis; Gerald A. Meehl, États-Unis; Mark F. Meier, États-Unis; Jerry Melillo, États-Unis; Michael Oppenheimer, États-Unis; Michael Prather, États-Unis; V. Ramaswamy, États-Unis; David A. Randall, États-Unis; Ben D. Santer, États-Unis; Edward S. Sarachik, États-Unis; David Schimel, États-Unis; Stephen H. Schneider, États-Unis; Frederick Semazzi, États-Unis; Susan Solomon, États-Unis; Ron Stouffer, États-Unis; Kevin E. Trenberth, États-Unis; Robert T. Watson, États-Unis; Don Wuebbles, États-Unis; G.V. Gruza, Fédération de Russie; Valentin Meleshko, Fédération de Russie; Yves Fouquart, France; J. Jouzel, France; Christian Le Provost, France; Dominique Raynaud, France; Tom M.L. Wigley, Grande-Bretagne; Bruce A. Callander, Grande-Bretagne; R.G. Derwent, Grande-Bretagne; Chris K. Folland, Grande-Bretagne; Michael Grubb, Grande-Bretagne; Neil Harris, Grande-Bretagne; Sir John Houghton, Grande-Bretagne; Peter R. Jonas, Grande-Bretagne; Peter Liss, Grande-Bretagne; Kathy Maskell, Grande-Bretagne; John F.B. Mitchell, Grande-Bretagne; David E. Parker, Grande-Bretagne; Keith Shine, Grande-Bretagne; Anthony Slingo, Grande-Bretagne; P.L. Woodworth, Grande-Bretagne; Murari Lal, Inde; S. Sadasivan, Inde; J. Srinivasan, Inde; Akio Kitoh, Japon; Tatsushi Tokioka, Japon; Mack McFarland, Kenya; Laban J. Ogallo, Kenya; Ivar Isaksen, Norvège; Richard A. Warrick, Nouvelle-Zélande; Johannes Oerlemans, Pays-Bas; Arie Kattenberg, Pays-Bas; A.B. Diop, Sénégal; Bert Bolin, Suède; Colin Prentice, Suède; Henning Rodhe, Suède; Hartmut Grassl, Suisse; F. Joos, Suisse; Eugenio Sanhueza, Venezuela.

# Conséquences de l'évolution du climat

## Le groupe II et les propositions pour le long terme

Interview d'Arthur Riedacker par Benjamin Dessus.

**L**es questions abordées avec Arthur Riedacker tournent autour de l'évolution, depuis 3 ou 4 ans, de la façon dont le groupe II du GIEC a pris en charge l'analyse scientifique et technique des incidences de l'évolution du climat, des mesures d'adaptation et d'atténuation des émissions. Quels sont les éléments marquants, et qui tranchent par rapport à l'édition de 1990, du rapport pour les décideurs rédigé par le groupe II du GIEC ?

**Benjamin Dessus :**

*Tout d'abord, comment entre-t-on dans un groupe de travail ?*

**Arthur Riedacker :** Dans la présentation du GIEC, j'ai tenu à rappeler le mode de fonctionnement du GIEC qui me paraît trop peu connu. Il comporte certains formalismes, mais aussi de grandes souplesses. Il convient de

distinguer la participation à des groupes de travail, (1) en tant que contributeur occasionnel, (2) en tant qu'auteur principal, (3) en tant que rédacteur d'un chapitre, et (4) la participation aux séances plénières des groupes de travail.

Pour entrer dans un groupe de travail il faut être reconnu dans son domaine, **être volontaire**, motivé, prêt à rédiger des textes que l'on devra remettre cent fois sur le métier, à fournir un certain travail de recherche bibliographique, à recueillir des articles non encore publiés mais déjà acceptés par des comités de lecture et accepter de travailler en groupe. Il faut aussi disposer d'un minimum de moyens financiers et de temps pour pouvoir participer aux réunions. Il faut enfin que les gouvernements des candidats ne s'opposent pas à leur candidature. Je ne connais pas de refus dans les

pays industrialisés. Mais ce n'est pas parce que l'on a été coopté pour ses compétences scientifiques que votre gouvernement ou votre organisme de tutelle acceptera de payer votre participation aux différentes réunions de travail. Dans notre groupe de rédaction du chapitre 19, il y avait une personne très compétente, avec laquelle nous avons collaboré en permanence par écrit ; elle n'a jamais pu venir aux réunions de travail, puisqu'elles n'eurent jamais lieu dans sa ville. Il y eut six réunions, trois à Genève, une à Tokyo, une à Paris et une autre à Lund en Suède.

Il faut en outre souligner que, dans les groupes de travail, tout se passe en anglais et qu'il faut rédiger dans cette langue si l'on veut pouvoir être pris en considération... Cela a suffi à refroidir les ardeurs de certains spécialistes non

anglophones. Pour ce qui concerne la France, plusieurs candidats pressentis par les ministères se sont rétractés par manque de temps.

Pour les spécialistes des pays en développement, à partir du moment où leur gouvernement avait accepté leur participation, les frais de missions étaient pris en charge par le fonds spécial du GIEC, alimenté par des pays industrialisés.

Pour non seulement participer à la rédaction, mais devenir rédacteur d'un chapitre, il fallait en outre disposer de possibilités de frappe en anglais et d'expédition par télécopie de textes assez longs - jusqu'à 150 pages pour le chapitre 19 traitant des productions d'énergie - à tous les co-auteurs situés aux quatre coins du monde. Disposer du courrier électronique était également un avantage. Et il fallait être proposé par le GIEC ou être en mesure d'occuper un créneau pour lequel il n'y avait pas de rédacteur. J'ai pour ma part hésité puis renoncé à prendre en charge la rédaction du chapitre sur les questions transversales, étant donné l'insuffisance des moyens et de temps dont je pouvais disposer. J'ai donc participé comme auteur principal au chapitre 11 "Impacts et adaptations dans le secteur de l'Industrie, de l'Energie et des Transports"<sup>1</sup>, et au chapitre 19 sur la fourniture d'énergie. Dans les deux cas, j'ai concentré mes efforts à la biomasse, mais dans une production et une utilisation intégrées au sein de systèmes énergétiques, agronomiques et forestiers.

**B.D. :** *Comment avez vous été amené à participer pour la première fois aux travaux du GIEC ?*

**A.R. :** J'ai participé assez directement aux travaux du GIEC de 1990 jusqu'à la fin du second rapport de l'IPCC qui paraît cette année. Et ceci un peu par hasard, à cause de mes préoccupations antérieures. Je m'intéresse à la biomasse depuis bientôt trente ans, d'abord à l'INRA, puis à l'Agence Française pour la Maitrise de l'Energie et au ministère de la Coopération. Mais c'est par suite de ma participation antérieure au rapport d'Yves Martin sur l'effet de serre destiné au premier Ministre français en 1990 et à mes fonctions au Ministère de la Coopération que j'ai été amené à participer aux travaux du GIEC.

Dans le cadre du GIEC, j'ai d'abord participé activement aux travaux présidés par Jean Ripert qui concernaient les pays en développement. Et c'est à Sundsvall, en août 1990 que j'ai fait remarquer au président du GIEC, Bert Bolin, que je ne comprenais pas pourquoi la bioénergie n'avait pas été prise en compte dans les options retenues par le GIEC pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ma surprise était d'autant plus grande que Bert Bolin était suédois et que son pays avait déployé de grands efforts pour promouvoir les chaufferies à bois depuis le second choc pétrolier. Or l'utilisation de la biomasse est précisément un moyen de réduire les émissions nettes de gaz carbonique. Bert Bolin était parfaitement d'accord avec ma remarque et m'a conseillé de m'adresser au groupe forêt présidé par un forestier allemand. Ce dernier m'a avoué ne rien connaître à la bioénergie et m'a conseillé de m'adresser au groupe Energie présidé par M. Yokobori du Japon. Ce dernier ne connais-

sant que les grandes sources d'énergies traditionnelles - dans le rapports de 1990 il n'y avait que deux ou trois lignes sur les énergies renouvelables - m'a également fait part de sa méconnaissance de ce domaine. Mais il a pensé que c'était bien dans son groupe que cette question pourrait être débattue. Il fallut cependant attendre la séance plénière suivante du GIEC pour faire prendre en compte cette question. C'est là que les délégués des gouvernements purent décider, sur la base de rapports qui leur avaient été proposés, de mettre en chantier l'étude d'un certain nombre de problèmes qui avaient été insuffisamment traités ou pris en compte dans le premier rapport de 1990. A partir de ce moment la bioénergie fut pleinement prise en compte dans les travaux du GIEC. Si je rapporte cette anecdote, c'est pour montrer que le GIEC n'est pas une instance fermée, mais que dépendant des Nations Unies, il est soumis à certaines règles qui peuvent parfois paraître lourdes. Il faut en particulier veiller à prendre le temps de sensibiliser un certain nombre de délégués d'autres pays aux questions que l'on estime importantes.

**B.D. :** *Quels vous semblent être les éléments majeurs de changement depuis le rapport de 1990 dans votre groupe de travail II (anciennement III) ?*

**A.R. :** Je ne pourrais certainement pas être exhaustif sur ce point dans la mesure où je ne maîtrise pas la totalité des domaines. Plusieurs points me paraissent pourtant devoir être soulignés :

- Il y a maintenant une véritable analyse des potentialités des éner-



gies alternatives au pétrole et au charbon (nucléaire, éolien, hydraulique, photovoltaïque, biomasse, gaz naturel, etc.) et des moyens de stockage du carbone émis par l'utilisation des combustibles fossiles.

- Les rôles relatifs des biomasses comme source d'énergie et comme puits de gaz carbonique ont été bien mis en évidence. Lors du précédent rapport, les forêts n'étaient vues que comme un moyen de stocker des quantités supplémentaires de carbone, notamment via des boisements nouveaux et massifs. Il apparaît clairement maintenant dans le rapport que la valorisation des biomasses sous forme d'énergie offre plus de possibilités de réduction des émissions à long terme que le seul stockage supplémentaire du carbone.

- On a commencé à recenser les technologies susceptibles de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

- La liste des gaz pris en considération pour le réchauffement s'est restreinte.

- On a bien mis en évidence la nécessité de politiques à long terme (de recherche et développement, et d'incitation pour les marchés) pour faire émerger les technologies nécessaires à une réduction massive des émissions de gaz à effet de serre.

**B.D. :** Revenons un instant sur les gaz à effet de serre

**A.R. :** L'énergie et les changements d'affectation des terres (la déforestation définitive des forêts tropicales comportant d'importantes quantités de biomasse par hectare) restent les principales sources d'émission de gaz carbo-

nique Pour montrer l'importance relative de ces deux secteurs, il suffit de regarder la figure ci-dessous publiée par le RIVM<sup>2</sup> d'après un scénario moyen d'évolution économique, démographique et d'intensification agricole retenu par le GIEC. Cela se passe de commentaires. Je pense qu'on aurait pu mettre cette figure dans le rapport final pour les décideurs. Si on ne l'a pas fait, c'est parce que cela ne correspond qu'à un des scénarios possibles.

L'énergie restant l'une des sources prépondérante d'émissions de gaz à effet de serre, il faut considérer attentivement les potentialités de réductions de consommations des énergies - ce qui n'est pas nouveau - mais aussi de stockage souterrain du gaz carbonique, capté par exemple à la sortie des centrales électriques consommant du charbon.

**B.D. :** Et les autres gaz ?

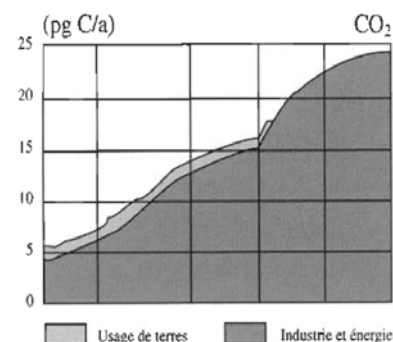
**A.R. :** Les plus importants sont le méthane (CH<sub>4</sub>), l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), les composés organiques chlorés et les CFC (dont les émissions devraient lentement disparaître dans le cadre du protocole de Montréal). Pour ces gaz, les experts du groupe I du GIEC avaient initialement créé, pour les décideurs des négociations politiques, la notion de PRG (Potentiel de Réchauffement Global ou Global Warming Potential). Mais aujourd'hui ils préfèrent ne plus donner de valeurs aux gaz précurseurs de l'ozone, comme le monoxyde de carbone, car ils estiment que les phénomènes en jeu sont trop complexes. C'est ainsi que le méthane qui était affecté initialement d'un coefficient d'équivalence de 23 par rapport au

gaz carbonique, qui tenait compte des effets indirects, se voit maintenant affecté d'un coefficient deux fois plus faible, de 11.

D'autres gaz comme le monoxyde de carbone et les divers oxydes d'azote agissent de façon indirecte en consommant les radicaux hydroxyles OH, ce qui ralentit l'oxydation du méthane. La non prise en compte de ces effets indirects peut avoir des conséquences importantes. Par exemple, les feux de savanes qui génèrent des quantités importantes de monoxyde de carbone, d'ozone troposphérique et d'aérosols, de même que les générateurs de chaleur de mauvaise qualité à base de biomasse (il en existe de très bonne qualité), ou les foyers améliorés émettant beaucoup de monoxyde de carbone ne sont plus condamnés avec la même force que précédemment.

Mais le débat n'est pas clos ... Pour le moment on oublie simplement ces gaz.

**B.D. :** A-t-on progressé dans la mise en évidence des enjeux relatifs des différentes mesures de prévention des émissions, entre la



**Figure 1.** Emissions de CO<sub>2</sub> dues à l'énergie, à l'industrie et à l'usage des terres.

*maîtrise de l'énergie et les énergies renouvelables, le stockage du gaz carbonique, le nucléaire,... qui me semble-t-il étaient peu présents dans le rapport de 1990 ?*

**A.R. :** Oui, et c'est là l'un des points importants. Dans le chapitre 19 et sur la figure N° 5 du rapport du Groupe II on explore, avec toutes les difficultés que cela présente, le rôle potentiel et à long terme des différentes options : nucléaire, éolien, photovoltaïque, hydraulique, stockage du carbone dans la biomasse, dans le sous sol ou les océans et utilisation des biomasses pour produire des bioénergies, etc. pour satisfaire les besoins énergétiques.

Les premières explorations montrent qu'il faut faire émerger des technologies nouvelles, dont certaines paraissent proches de la maturité. C'est là un point sur lequel je voudrais insister car il n'est absolument pas pris en compte par le groupe III du GIEC qui a privilégié une approche coût/bénéfice incapable de préparer l'émergence de moyens de riposte en cas de besoin.

Dans tous les cas il faudra, pour réduire significativement les émissions, accroître non seulement l'efficacité énergétique mais aussi celle de l'utilisation des terres agricoles et donc de l'eau et des intrants. Les premiers scénarios de R. Williams montrent qu'il faudrait consacrer de 200 à 300 millions d'hectares à la production de biomasse énergétique d'ici 2100.

**B.D. :** *Où trouvera-t-on ces terres ?*

**A.R. :** D'après les différentes analyses, il y aura des terres disponibles en Amérique latine (cf

Global Chance n°5) et il devrait y en avoir en Afrique. Mais sur ce point les avis divergent. D'après les cartes publiées par le RIVM<sup>3</sup>, si l'Afrique doit se nourrir et si l'agriculture reste à des niveaux d'intrants aussi bas, il n'y aura plus de forêts et plus de place pour la production de biomasse en Afrique en l'an 2050. Ce scénario est tout à fait réaliste si l'on n'arrive pas à intensifier l'agriculture avant cette date, c'est à dire si l'on continue par exemple à n'apporter en moyenne que 12 kg d'engrais par hectare en Afrique sub-saharienne alors qu'on en utilise entre 200 et 300 kg par hectare en Asie, en Inde et en Europe.

Le message fort que j'aurais aimé faire passer dans le rapport pour les décideurs du groupe II, c'est qu'il faut apprendre dès maintenant, par mesure de précaution<sup>4</sup>, à intensifier l'agriculture en Afrique sub-saharienne. Il ne faut pas attendre que la déforestation atteigne celle qu'on constate aujourd'hui par exemple dans le sous continent indien. Accroître l'efficacité de l'agriculture me paraît bien plus important que d'accroître les rendements du photovoltaïque en sites décentralisés en Afrique ...

**B.D. :** *Pourquoi ce message n'a t-il pas pu passer ?*

**A.R. :** Parce que la déléguée suisse était contre l'accroissement de la productivité agricole. Elle voulait que, dans le texte pour les décideurs, on accompagne ce message de toute une série de précautions mentionnées dans les rapports de base, mais, vu la longueur allouée au rapport pour les décideurs, il était évidemment impossible

d'aller plus loin. D'où la faiblesse du message.

Concernant l'agriculture, je voudrais aussi mentionner qu'un tel accroissement de l'efficacité de l'agriculture africaine ne peut être obtenu en Afrique sub-saharienne sans la mise en place de politiques agricoles. J'en suis persuadé, mais il n'y avait pas de publications portant sur ce thème pour l'affirmer. On n'en a donc pas parlé.

En revanche, il est venu au cours de la session finale de novembre 1995 à Montréal, une proposition des délégués américains fortement empreinte d'automatismes liés au libéralisme supposé plus efficace dans tous les domaines, visant à recommander la suppression des aides à l'agriculture pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ! J'ai pu repousser la proposition sous cette forme en indiquant qu'il n'y avait pas de publication montrant que les subventions augmentaient systématiquement les émissions de gaz à effet de serre. Le président proposa rapidement un compromis qui apparaissait raisonnable, mais seulement superficiellement, et que je fus contraint d'accepter<sup>5</sup>; on retint qu'il fallait, comme pour l'énergie, supprimer les subventions à l'agriculture qui entraînaient une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Mais sans doute aurait-il fallu compléter cette recommandation en proposant de mettre en place des politiques agricoles (et parfois des subventions) pour inciter à l'accroissement des productivités agricoles, tout au moins jusqu'à un certain point. Ceci afin de sauver les forêts qui, sinon, auront peut-être presque totalement disparu dans un demi siècle, et pour pouvoir produire des biocarbu-

rants, comme en Amérique latine et en Europe. Si la communauté des économistes ruraux travaillant sur l'Afrique se mobilise sur ces problèmes relatifs à l'usage et à l'intensification des agricultures en liaison avec les changements climatiques, peut-être pourrions nous disposer de recommandations plus satisfaisantes pour les agricultures africaines et les politiques de bioénergie dans les rapports et dans les faits en l'an 2000.

**B.D. :** *Quelles ont été les principales réactions des contre-experts gouvernementaux sur le chapitre 19 consacré aux productions d'énergie ?*

**A.R. :** Nous avons reçu 370 commentaires (47 pages) dont 23% de commentaires généraux et 77% de commentaires spécifiques auxquels nous avons répondu. Il est intéressant de noter que les commentaires des pays en développement constituent seulement 3% des commentaires (en provenance seulement de l'Argentine et de la Chine). Pour les pays industrialisés nous avons dans l'ordre : les Etats Unis (19% des commentaires) la Grande Bretagne (8,7%) le Japon (8,6%) les Pays Bas (6,4%) et l'Australie (4,5%). La France, le Danemark, la Suède et l'Allemagne ont contribué chacun pour 2 à 3% ; le Canada, l'Autriche et la Nouvelle Zélande ont également fait des contributions mais chacun pour environ 1%.

A cela il convient d'ajouter les commentaires des organismes, ceux du Centre de Recherche des Industries Electriques du Japon (CRIEPI), l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (AIEA) et l'Association Internationale pour l'Environnement, des indus-

tries pétrolières avec chacun 6 à 7% des commentaires ; la Coalition Mondiale pour l'Energie, le Conseil Mondial pour l'Energie, l'Association Allemande pour le Charbon et l'Institut Electrique Edison ont fait chacun moins de 1% des commentaires ; et les experts indépendants 10% des commentaires. Cela permet de mesurer les enjeux qu'y voient les divers pays, notamment pour définir leurs stratégies de développement technologique. Les Etats-Unis et le Japon sont très présents, parce que cela représente pour eux des enjeux importants en terme de marché<sup>6</sup>.

J'ai été par contre très surpris de ne voir aucune réaction de la part des pays africains alors qu'on examine dans les divers scénarios l'hypothèse de développement massif, à terme, des cultures de biomasses énergétiques sur des millions d'hectares.

On remarquera par ailleurs que les Etats-Unis étaient fortement intéressés par les nouvelles technologies et contestaient le fait que des changements importants puissent être obtenus avec des surcoûts faibles. C'est là un point central. Car si les coûts pour adopter de nouvelles technologies sont élevés, il est facile de prendre ce prétexte pour ne rien changer. Notre groupe de travail pense que des réorientations importantes peuvent être obtenus à des coûts comparables, c'est à dire pas beaucoup plus cher à long terme que les solutions classiques, si l'on se donne les moyens de faire émerger les technologies **et de les adopter**, non pas en renouvelant prématurément les équipements existants, mais en prescrivant l'adoption de technologies nouvelles et plus effi-

**caces au moment du renouvellement des équipements ou lors d'investissements nouveaux.**

**B.D. :** *Je reste sur ma faim en ce qui concerne les priorités et les enjeux. A la lecture du document, j'ai plutôt l'impression d'une liste à la Prévert, sans indication claire de classement. En ce qui concerne la biomasse, on trouve à la fois, dans les figures illustrant les scénarios, des perspectives très volontaristes et à peine une allusion dans le texte au sein d'un paragraphe sur les renouvelables. Et quid de la compétition des usages du sol ?*

**A.R. :** Le rapport de base sur la production d'énergie ne devait comprendre au début que 35 pages sur les 340 pages du rapport final. Mais comme c'est un des domaines les plus importants, le bureau du GIEC nous en a alloué 80. On y passe en revue les différentes énergies et l'on y examine les perspectives de développement pour chacune d'entre elles. Dans le résumé pour les décideurs, il a fallu se contenter de quelques lignes. L'importance de chacune des énergies renouvelables dépend évidemment des ressources locales. Cela dépend aussi des choix faits pour les autres énergies ; c'est pourquoi nous avons présenté plusieurs variantes privilégiant les biomasses, les énergies nucléaires, le charbon ou encore le gaz naturel. Une dernière variante examine les besoins en cas de très forte demande, alors que les autres variantes ont été examinées en supposant une forte maîtrise de l'énergie du côté de la demande ; cette dernière variante a été ajoutée pour répondre à une

demande formulée par des experts. La figure 5 du rapport pour décideurs du groupe II montre, dans chaque cas, les proportions des autres énergies qui seront nécessaires si l'on veut être réaliste et viser malgré tout une forte réduction des émissions d'ici la fin du prochain siècle. Je pense qu'il valait mieux illustrer notre propos par cette figure pour faire réfléchir les décideurs plutôt que de détailler chaque énergie. De toute façon, aucune solution (même si l'on cherche à privilégier l'une d'entre elles) ne permettra à elle seule de réduire suffisamment le niveau des émissions de gaz à effet de serre. C'est ce que montre la figure 5.

Je ne crois pas que l'on puisse maintenant aller au delà de ces propositions au niveau planétaire. Pour affiner les choix, il faudra des études nationales et régionales pour déterminer non seulement les possibilités techniques, mais aussi les chemins qu'il faut envisager de parcourir pour y arriver. Si des recherches sont engagées dans ce sens - et j'espère que ce sera maintenant le cas - le prochain rapport du GIEC pourra les évaluer... Je pense que le GIEC, s'il ne veut pas se contenter seulement de promouvoir les transferts de technologies du Nord vers le Sud, devrait désormais être plus attentif aux quatre points suivants :

**1** Aux conséquences des politiques agricoles en Afrique sur les possibilités de production de biomasse ; je ne vois ici pas de grande différence entre les efforts faits pour rendre plus efficaces les systèmes photovoltaïques et ceux déployés pour rendre les plantes (donc leur production de biomasses) et leur conversion plus efficaces ; dans les deux cas il faut

des recherches et un apprentissage.

**2** Aux conditions de promotion des efforts de recherche et développement pour favoriser l'émergence de nouvelles technologies de valorisation des biomasses ; mais ces recherches, si l'on veut qu'elles puissent s'appliquer doivent partir d'une analyse fine des besoins dans les pays en développement, notamment en Afrique subsaharienne.

**3** A l'élaboration de scénarios régionaux autour de systèmes agro-urbains (une ville et sa région dans un rayon d'environ 100 km).

**4** Au soutien d'opérations de démonstration de gestion intégrée (agriculture, forêts, énergie et villes) pour des développements plus durables.

**B.D. :** *Vous n'avez pratiquement pas évoqué la maîtrise de l'énergie parmi les moyens les plus efficaces et les moins onéreux pour lutter contre l'effet de serre.*

**A.R. :** C'est vrai mais ce n'est pas un oubli, dans mon esprit c'est une évidence. En fait la maîtrise de l'énergie est reconnue aujourd'hui par tout le monde comme le moyen le plus efficace et le moins cher de limiter les émissions de gaz à effet de serre. D'ailleurs le rapport affirme que 10 à 30% de réduction peuvent être obtenus à des coûts faibles ou même négatifs. Vous voyez donc que cette idée a bien progressé depuis quelques années au sein de la communauté scientifique.

**B.D. :** *Le rapport insiste sur la nécessité de politiques à long terme pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Comment cela s'emboîte-t-il avec les travaux du groupe III ?*

**A.R. :** Oui c'est là une grande différence avec le groupe III. Mais même au sein du groupe II on retrouve des différences d'approche. Elles sont attribuables aux cultures différentes des économistes et des ingénieurs et aux horizons qu'ils se donnent. Les approches économiques et les forces du marchés ne peuvent pas donner des réponses satisfaisantes pour le long terme. Pour favoriser, non pas l'adoption des technologies les plus efficaces à chaque instant, mais l'émergence de nouvelles technologies, il faut un certain volontarisme. Ce n'est certainement pas en se basant sur des considérations économiques à court terme qu'on aurait pu développer le nucléaire. Et j'ai le sentiment que les économistes refusent de voir cet aspect . Si l'on ne fait pas des choix très clairs en faveur du développement de certaines technologies de façon très volontariste, celles dont on pourrait avoir besoin pour lutter efficacement contre le réchauffement planétaire n'ont aucune chance d'émerger.

**B.D. :** *Comment le groupe II réagit-il à la difficulté de la régionalisation des effets des changements climatiques dont le groupe I dit qu'on ne peut rien en dire ?*

**A.R. :** C'est évidemment extrêmement difficile d'évaluer les impacts régionaux en l'absence de régionalisation des effets. Mais on a des indications globales sur l'évolution possible des températures. Cela permet par exemple d'estimer très grossièrement les surcoûts de climatisation et les baisses des charges de chauffage hivernal en zone tempérée. On

peut faire des calculs qui donnent une idée de l'évolution possible des consommations d'énergie dans l'habitat. Il y a des travaux dans ce domaine. Cela suppose cependant que les modes de vies ne changent pas radicalement... Selon qu'on encouragera ou non la climatisation, ou les achats par correspondance à distance, les consommations évolueront dans un sens ou dans un autre.

En revanche, il est plus difficile de savoir quels seront les impacts possibles sur les rendements des cultures et sur le comportement des arbres, donc des écosystèmes. Les connaissances dont on dispose ne sont pas assez fines.

Dans le cas d'un renforcement de la sécheresse, on peut faire des prévisions sur l'évolution des productions des plantes, repérer les plus vulnérables et faire des recommandations pour pouvoir éventuellement faire face à des changements climatiques d'une certaine ampleur. Dans les pays industrialisés, la recherche agronomique sera sans doute à même de produire en permanence de nouvelles variétés en prenant en compte les changements climatiques lents. Dans les grands pays comme les Etats-Unis, on pourra sans doute obtenir assez facilement une redistribution des productions satisfaisante pour le pays. Dans les petits pays, des changements climatiques importants seraient plus dramatiques.

En ce qui concerne les désertifications, la Tunisie et la Mauritanie avaient proposé la tenue d'un atelier avec le groupe I. Le GIEC a donné son accord mais les organisateurs se sont révélés défaillants. De façon générale les rapports détaillés concluent que les changements climatiques risquent

d'accentuer les difficultés. Mais en fait, la plupart des grandes villes du Tiers Monde et des peuplement humains auront des problèmes importants à résoudre, du fait des croissances économiques et démographiques, **sans doute bien avant** que les effets des changements climatiques ne se manifestent.

Les chapitres des rapports de base sont sur ces points bien plus riches d'enseignements que le rapport de synthèse. Ils donnent un certain nombre d'indications sur les impacts possibles par exemple sur le tourisme, les zones côtière vulnérables, etc. Comme les adaptations sont spécifiques, elles ne pouvaient être mentionnés dans le rapport de synthèse des groupes.

**B.D. :** *En parcourant le rapport, j'ai été très surpris du déséquilibre flagrant entre les propositions du groupe concernant les mesures de réduction des émissions et donc de prévention de changement trop brutal de climat et celles concernant l'adaptation au changement. Dans ce dernier cas on décrit dans un certain détail les risques liés au changement climatique (évolution des rendements agricoles, désertification, incidence sur les forêts, les prairies, les océans, etc). Par contre, le rapport brille par son absence de propositions techniques d'adaptation. De plus, on ne voit pas apparaître la notion de dynamique du changement de climat qui me paraît tout à fait majeure pour envisager des stratégies d'adaptation. Alors qu'il y a un long chapitre consacré aux mesures de réduction des émissions, rien sur les mesures d'adaptation. A quoi attribuez vous cette absence ? Est ce plutôt la conséquence des propos du groupe I qui conduiraient à une*

*attitude du genre "puisque'on ne peut pas prédire les conséquences régionales du changement, à quoi bon s'occuper d'adaptation", ou plutôt à une volonté de privilégier les mesures de prévention, avec leur contenu de solidarité internationale, par opposition aux stratégies d'adaptation qui sous-tendent des gagnants et des perdants ?*

**A.R. :** La réponse à cet ensemble de questions est complexe. Les mesures d'adaptation sont évidemment spécifiques. Si les sécheresses devenaient plus fréquentes, par exemple au Sahel, il faudrait sélectionner des plantes capables de mieux résister à la sécheresse, ou utilisant plus efficacement l'eau, ou présentant des cycles de végétation raccourcis si les périodes de pluies devenaient plus courtes. En montagne il faudrait peut-être songer à reconverter les stations de ski dont l'enneigement pourrait diminuer. Ailleurs il faudrait peut-être surélever les usines en bordure de mer ou songer à en construire de nouvelles dans des endroits moins vulnérables. Les mesures à envisager dépendront souvent de la nature exacte des changements climatiques dont on a dit plus haut qu'ils étaient mal connus. Les industries les plus proches des productions primaires (les industries agroalimentaires, la pêche ...) seront plus vulnérables aux changements climatiques que les industries sidérurgiques ou électroniques

De plus, la vulnérabilité des pays dépend de leur taille, de la diversification de leur économie et des possibilités de redistribution des activités agricoles. Dans un grand pays comme les Etats-Unis,

il y aura toujours des endroits pour produire du maïs et du blé. Cuba, par contre, avec sa quasi monoculture et monoindustrie sucrière est bien plus exposé, en particulier si le climat venait à changer de telle manière qu'on y soit contraint d'abandonner la culture de la canne. Tout cela figure dans les rapports de base, mais ne pouvait pas être détaillé dans le texte pour les décideurs. Chaque pays pourra en tenir compte.

Mais, comment s'adapter à l'élévation du niveau des mers quand on vit dans une petite île du Pacifique à quelques centimètres au dessus du niveau de l'océan ? Les autres pays du monde leur proposeront-ils d'émigrer ou de leur construire des grandes murailles côtières pour les protéger ?

Certes, les pays qui pensent pouvoir bénéficier d'un réchauffement climatique seront moins enclins à participer à l'effort de réduction des émissions de GES. Mais, faute de pouvoir prédire vraiment ce qui va se passer, ce genre de position paraît dangereux. Que ferait-on si la mousson disparaissait en Asie ?

**B.D. :** *Je reviens un instant sur les conséquences des changements climatiques telles qu'elles sont*

*décrites dans le rapport du groupe II. La vulnérabilité des pays en développement au changement paraît beaucoup plus importante et particulièrement en Afrique qui semble bien cumuler les handicaps. Comment analysez vous la situation, d'autant que la carte du potentiel forestier en cas de doublement de l'effet de serre montre que l'espace forestier de l'Afrique tropicale pourrait augmenter sensiblement ?*

**A.R. :** Les études de vulnérabilité - sauf pour ce qui concerne l'élévation des niveaux de la mer - semblent encore insuffisantes en Afrique. Mais il est vrai que les pays riches ayant une recherche agronomique et des paysans efficaces paraissent avoir plus de possibilités de s'adapter à d'éventuels changements. Pour ce qui concerne les forêts, il ne faut pas confondre la possibilité d'extension théorique des forêts tropicales - une bien plus grande partie de l'Europe actuelle pourrait par exemple être boisée - et l'évolution réelle des surfaces forestières. En Afrique ces dernières continueront à diminuer, sans doute aussi longtemps qu'on n'y ressentira pas le besoin d'intensifier l'agriculture et de protéger les forêts ; ceci parce qu'elles rapportent moins que les cultures... Les scénarios de

l'équipe du RVIM en Hollande laissent entrevoir qu'en l'absence de mise en place de politiques agricoles en Afrique subsaharienne destinées à intensifier l'agriculture il ne restera au milieu du prochain siècle qu'un lambeau de forêt dans la cuvette congolaise...

**B.D. :** *Pour conclure je voudrais connaître enfin votre sentiment sur le fonctionnement et l'utilité du GIEC. Quels commentaires faites vous sur la façon dont a fonctionné le groupe ?*

**A.R. :** J'ai déjà eu l'occasion d'exprimer mon opinion sur cette question dans la présentation que j'ai faite du GIEC. Je souhaiterais cependant de nouveau insister sur l'importance d'une implication plus forte de la communauté scientifique francophone dans ce processus original que constitue le GIEC. Notre pays se doit d'apporter une contribution plus importante au GIEC et d'aider les scientifiques des pays du champ de la Coopération à participer pleinement à ce processus original d'élaboration d'un consensus international sur la question importante de la lutte contre le réchauffement climatique. ■

### Notes :

- 1 La partie sur les transports est revenue à ce groupe en cours de route, faute de candidat capable de prendre en charge ce secteur.
- 2 RIVM est l'institut Néerlandais de Santé Publique et de Protection de l'Environnement.
- 3 Water air and soil pollution 76 : 37-78, 1994, Kluwer Academic Publishers.
- 4 Et presque sans regret, au cas où les menaces de changements climatiques seraient moins importants que ce que l'on craint à l'heure actuelle.
- 5 Notons que les autres représentants de pays ne semblaient avoir aucun avis sur la propositions américaine.
- 6 On retrouve la même situation pour ce qui concerne les remarques écrites faites avant le début de la session de Montréal consacrée à la finalisation du résumé du groupe II pour les décideurs ; sur 410 commentaires et demandes de modifications les Etats-Unis en avaient proposé 113 ; la Coalition globale pour le climat 81, l'Australie 57, l'Allemagne 54, et le Conseil pour le climat 33 et la Grande Bretagne 17. Parmi les pays en développement seul le Chili et le Kenya avaient fait des remarques. 85% des remarques vinrent de pays anglophones et 13% de l'Allemagne !

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

<sup>a</sup> 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)

dant 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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.

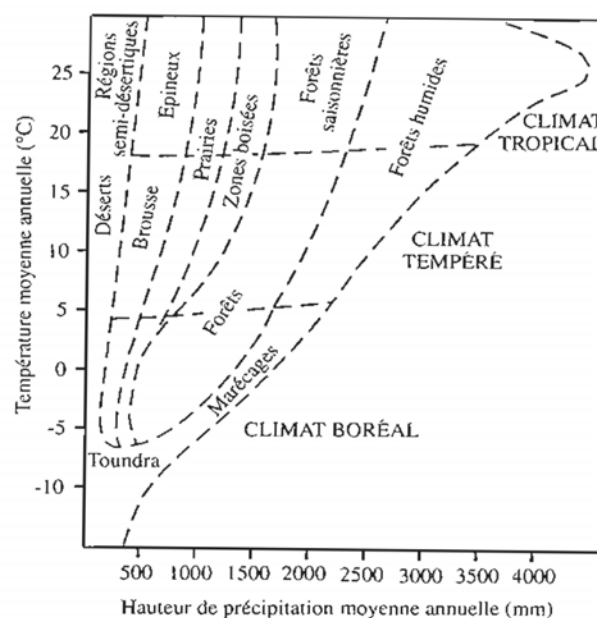
### 3.1 Ecosystèmes terrestres et aquatiques

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.

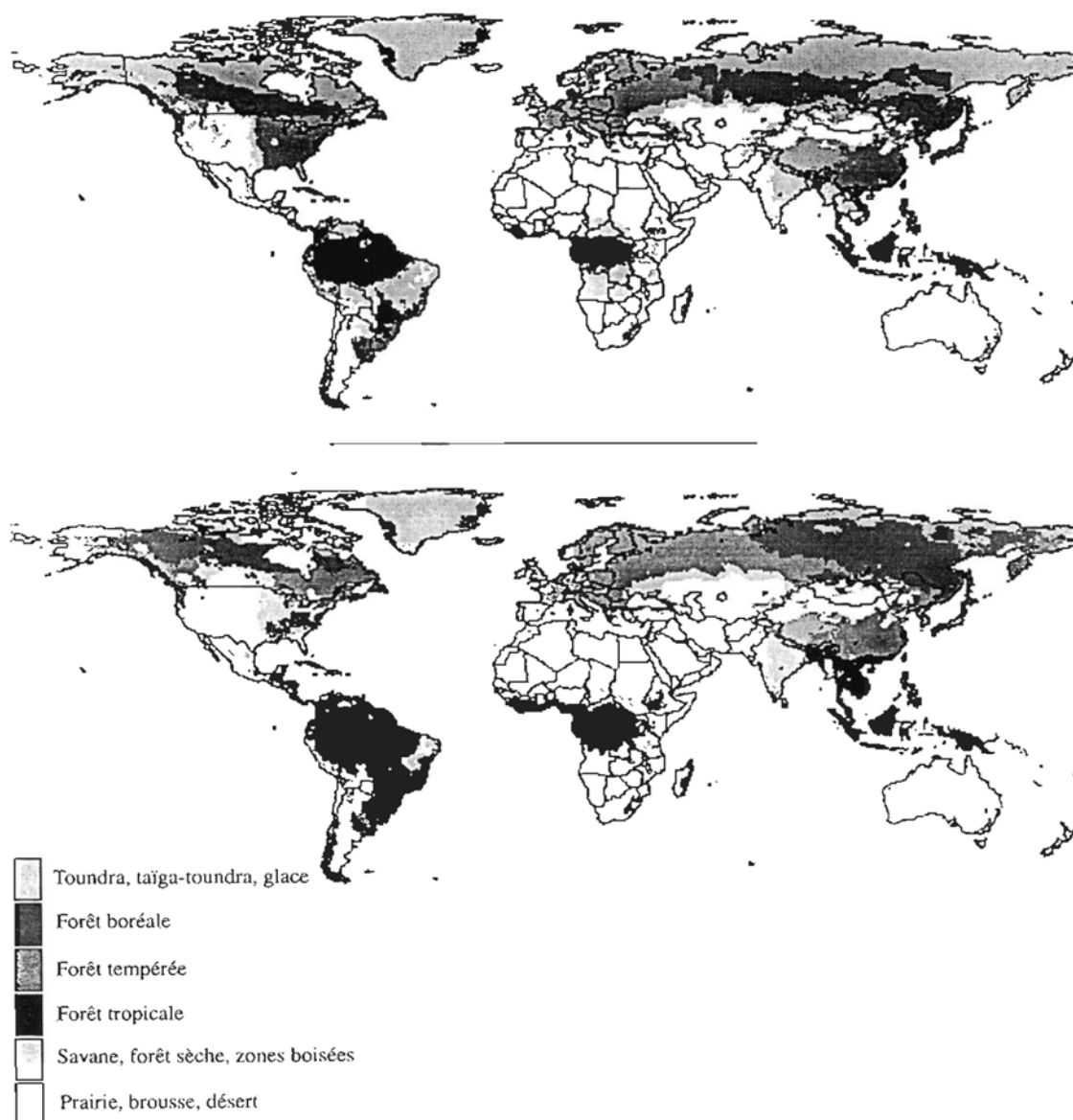
nombreux endroits la capacité de croissance et de régénération des forêts. Dans divers cas, les fonctions et la composition des forêts en seraient sensiblement altérées. En raison de l'évolution possible des températures et de la quantité d'eau disponible que pourrait entraîner un doublement de la concentration 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 CO<sub>2</sub>). 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 CO<sub>2</sub> - et notamment les effets physiologiques directs du CO<sub>2</sub> 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 m<sup>3</sup> 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 CO<sub>2</sub>, mais que les effets régionaux de cette évolution seraient très variables. Cette projection tient compte du rôle fertilisant du CO<sub>2</sub> 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<sup>e</sup> 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 CO<sub>2</sub>.

| 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 <sub>2</sub>                                                                                                            |
|                                    | 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 <sub>2</sub>                                                                                                                       |
|                                    | Soja               | De -10 à +40                   | Données en provenance du Brésil ; fourchette couvrant l'ensemble des scénarios, avec l'effet du CO <sub>2</sub>                                                                                                                                                       |
| Ex-Union soviétique                | Blé                | De -19 à +41                   | Fourchette couvrant l'ensemble des scénarios, avec l'effet du CO <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                         |
|                                    | 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 <sub>2</sub> ; 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 <sub>2</sub> ; 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 <sub>2</sub>                                                                                         |
|                                    | 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 <sub>2</sub>                                                                                 |
|                                    | Millet<br>Biomasse | De -79 à -63<br>Diminution     | Données en provenance du Sénégal ; chute de 11 à 38% de la capacité biotique<br>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 <sub>2</sub> ; 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<sup>e</sup> 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

certaines 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.

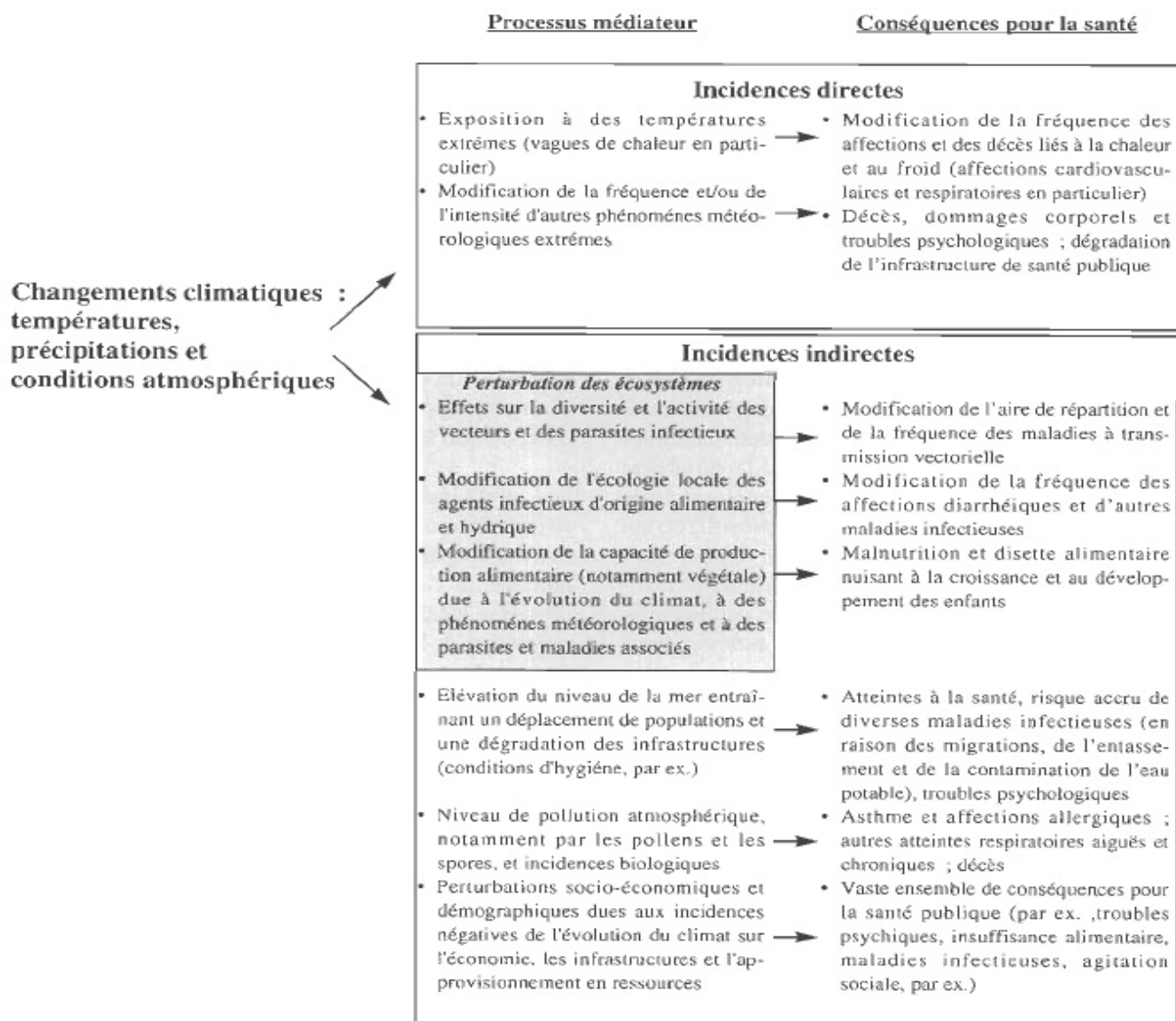
Les effets indirects de l'évolution du climat sont le risque de recrudescence de maladies infectieuses transmises par des vecteurs (comme le paludisme, la dengue, la fièvre jaune et certaines encéphalites d'origine virale) imputable à l'extension de l'aire de répartition et à l'allongement de la période 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<sup>e</sup> 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 giardiasse 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 CO<sub>2</sub>. Sur ce total, 279 EJ, correspondant au rejet de 3,7 GtC sous forme de CO<sub>2</sub>, ont abouti aux utilisateurs finals. Les 106 EJ restants, correspondant au rejet de 2,3 GtC sous forme de CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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

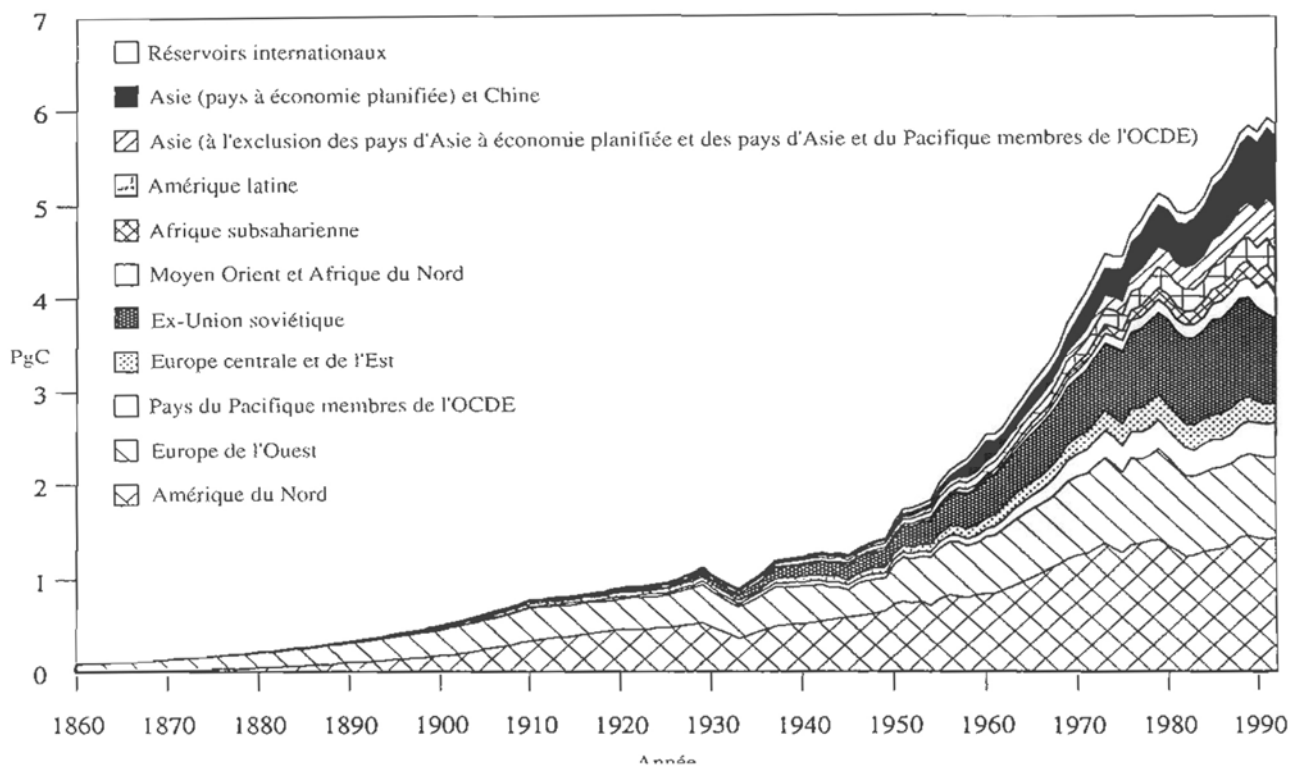
259 et 282 EJ.

La figure 4 présente les émissions globales de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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<sup>e</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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**

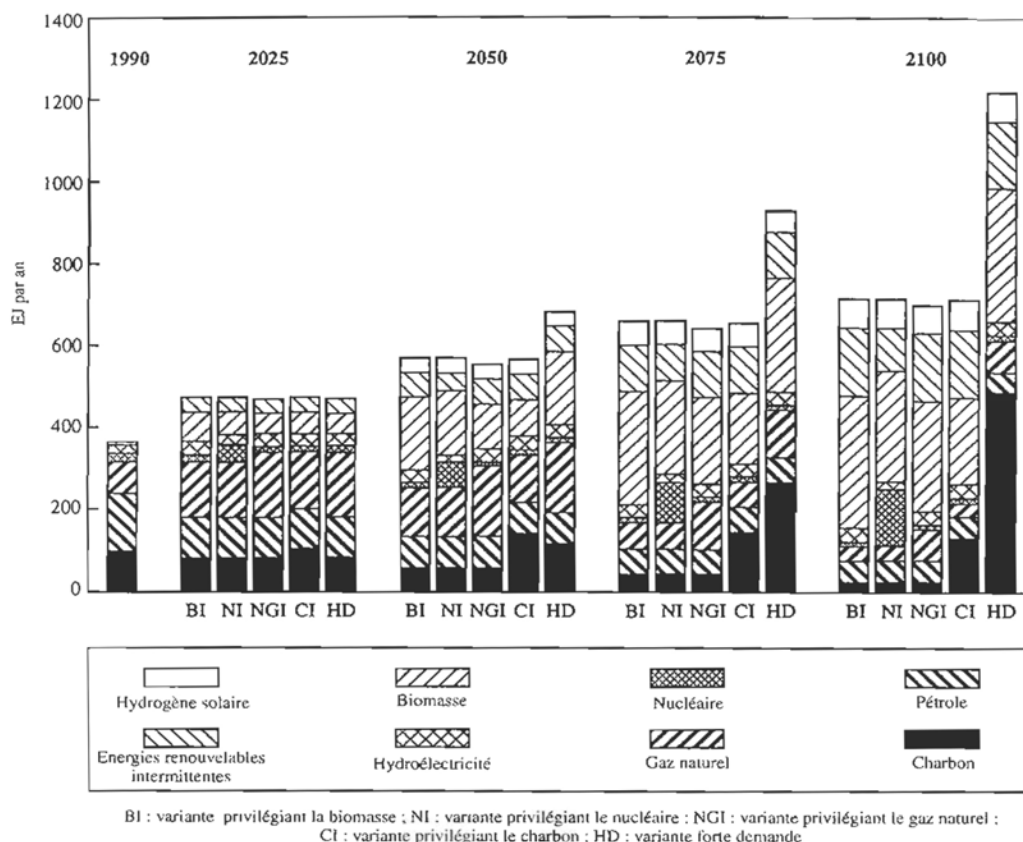
Afin d'évaluer les incidences éventuelles de la combinaison d'un ensemble de mesures isolées au niveau du système énergétique par opposition au niveau des technologies prises individuellement, nous décrivons ici les diverses variantes d'un système d'approvisionnement énergétique à faible taux d'émission de CO<sub>2</sub>, 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<sup>e</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>) : possibilités de faire face à l'évolution de la demande d'énergie grâce à diverses combinaisons de sources d'énergie

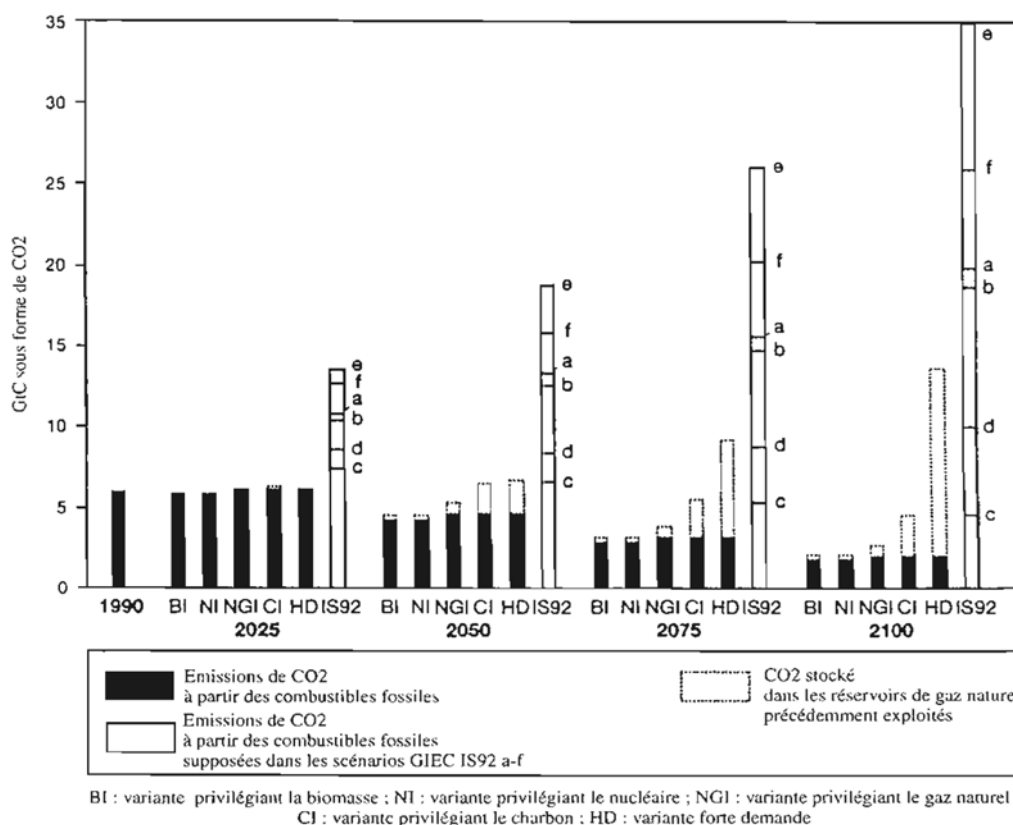
combustibles fossiles, qui passerait d'environ 6 GtC par an en 1990 à environ 4 GtC par an en 2050 et à environ 2 GtC par an en 2100 (voir la figure 6). La quantité totale de CO<sub>2</sub> rejetée entre 1990 et 2100 se situerait entre 450 et 470 GtC environ dans le cas des divers scénarios du système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

- L'amélioration du rendement énergétique est importante pour obtenir une réduction sensible des émissions de CO<sub>2</sub>, 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<sup>e</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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 Tsuzaka, Japon ; Pier Vellinga, Pays-Bas ; Ted Williams, Etats-Unis ; Patrick Young, Etats-Unis ; Youyu Xie, Chine ; Zhou Fengqi, Chine.

# Aspects socio-économiques

## Consensus inespéré ou artefact rhétorique ?

Jean-Charles Hourcade

**L**e groupe III du GIEC, consacré à l'étude des conséquences socio-économiques du dossier "climat" a bien failli ne pas exister. Le GIEC ayant comme mandat de dresser des états de la connaissance scientifique sans empiéter sur la formulation de recommandations, on pouvait en effet arguer que les sciences économiques devaient rester en dehors de ses compétences parce qu'elles ont des difficultés intrinsèques à respecter le schéma rationnel-légal standard qui veut qu'un scientifique neutre, incarnant le savoir, informe le politique seul investi de la responsabilité de la décision.

Loin d'être formel, ce débat était d'autant plus vif que les précédentes livraisons du GIEC concernant l'économie avaient été suspectées de biais idéologique fort (en clair une surdomination de

l'expertise américaine). L'offensive contre l'existence même du Groupe III venait de côtés très différents :

- l'Arabie Saoudite et les pays du Golfe voyaient mal comment un tel rapport pourrait ne pas aborder des questions touchant au marché pétrolier,
- les pays en développement, Brésil et Inde en tête, échaudés par le précédent du premier rapport craignaient, ne pouvant suivre le rythme de l'expertise "nordiste", être amenés à accepter un plaidoyer pour des solutions institutionnelles qu'ils rejettent (financement, politiques commerciales, transfert des techniques).
- les USA, alors sous l'administration Bush, craignaient ne plus pouvoir contrôler que le message donné *in fine* aux décideurs ne rentre

pas en conflit avec leur position de "wait and see".

Le principe du Groupe III fut adopté sous la pression conjointe du bureau du GIEC, dominé par les sciences dures, des pays européens, puis avec la neutralité des pays du Tiers Monde une fois que ceux-ci eurent obtenu des garanties d'équilibre dans la coordination des équipes de rédaction. Le mandat restait, certes, paradoxal puisqu'il était demandé à une discipline qui se définit comme la science du choix rationnel de ne formuler aucune conclusion opérationnelle, de s'en tenir à une posture strictement analytique et de conserver cette posture de scientificité pure en éclairant trois questions clefs dont on conviendra du caractère politiquement très sensible : faut-il agir ou pas ? comment partager équitablement les charges de l'action ?

quels instruments économiques sont susceptibles de coordonner des actions préventives ?

Il fallait donc travailler sans jamais franchir la ligne rouge qui sépare l'affirmation scientifique et la recommandation, ligne dont le tracé se détermine en pratique par une série de tensions entre scientifiques et représentants politiques autour de ce qui est acceptable et de ce qui ne l'est pas, nous y reviendrons. Mais il fallait aussi travailler sous le regard des collègues de "sciences dures" c'est-à-dire avec leur méthode de validation des énoncés scientifiques. Cette double contrainte va produire des effets qui sont loin d'être négatifs.

### **L'importance des règles ou ... la liberté négociée des scientifiques**

Pratiquant, comme les autres disciplines, "l'évaluation par les pairs" via des publications et colloques, les économistes n'ont pas à leur disposition l'outil de l'expérimentation en laboratoire pour réfuter des résultats et il leur est loisible d'organiser des colloques ou revues où s'échangent les idées entre partisans de telle ou telle approche et hors de la présence des contradicteurs. Cette structuration en "tribus" a une conséquence pratique immédiate sur le mode de validation des connaissances : l'économiste se comporte souvent, *volens nolens*, comme "conseiller du prince" ou de l'opposition au prince et chaque administration peut alors passer une étude, chaque journal deman-

der un article, à la tribu qui lui donnera la réponse qu'il attend (une non-réponse s'il s'agit de montrer que tout est très compliqué !). Il y a donc tendance à la reproduction *ad infinitum* de discours confortablement parallèles qui ne se réfutent jamais, chacun protégeant ainsi sa niche symbolique et son marché. Dans le cas qui nous occupe, les positions étaient au départ bien établies : veut-on prouver que la lutte contre l'effet de serre ne coûte pas grand-chose, on va chercher la tribu des modélisateurs "bottom-up" pour mettre en évidence les marges de manoeuvre en matière technologique ; veut-on prouver le contraire ? on s'adressera à celle des "top-down", généralement macro-économétriciens, très efficaces pour contrer l'optimisme technologique des précédents. Veut-on mettre en évidence la capacité d'une réforme fiscale écologique à créer de l'emploi ? il suffit de s'adresser à un néokeynésien. Veut-on au contraire empêcher toute aventure dans ce domaine ? on peut compter sur les réflexes professionnels des spécialistes de l'équilibre général calculable. Rajoutez la plasticité du discours littéraire, des envolées épistémologiques et le docte renvoi à l'affrontement des paradigmes, tout est en place pour une interminable guerre de position.

Or les règles du GIEC vont contraindre nos tribus à se comporter en communauté scientifique, c'est-à-dire, à se confronter dans des lieux précis, dans une période de temps limitée, pour rédiger un document commun rendant compte de leurs

acquis et de leurs désaccords. Cette contrainte d'unité de temps, de lieu et d'action, sous les regards d'autrui, produira des effets immédiats avec une marginalisation de ceux qui refuseront en fait la confrontation mais surtout se révélera très efficace pour produire du consensus.

Certes, ce consensus résulte en partie, on le verra, de subtilités rhétoriques et de l'utilisation de la polysémie des concepts. D'une part, il fallait jouer le jeu sous peine de disqualification du travail des économistes, soupçonnés avec quelque raison de produire des résultats numériques inexploitablement parce que totalement divergents. D'autre part, il fallait produire un texte acceptable non seulement par les signataires, mais aussi par les représentants des gouvernements à l'Assemblée Générale du GIEC. Ici, la contrainte politique interviendra très directement. Les règles du jeu sont en effet les suivantes :

- le rapport lui-même doit être accepté par l'assemblée générale ; les gouvernements et les ONG ont fait parvenir des contre-propositions (du type : "in ligne n° XX changer par YYY") au bureau du GIEC qui les a réparti entre les coordinateurs des chapitres. Pour donner un ordre de grandeur, j'ai reçu, pour les deux chapitres dont j'avais la charge, de l'ordre de deux fois 50 pages de textes, souvent contradictoires d'ailleurs. L'équipe de rédaction devait répondre brièvement par écrit à chaque proposition et, en Assemblée Générale, le coordinateur devait expliquer les raisons de l'intégration ou du rejet de chaque



remarques. Sur cette base, l'assemblée générale pouvait encore demander des corrections partielles et, en cas de désaccord profond avec certaines délégations, d'enlever des paragraphes, des sections du texte, voire, on le verra, un chapitre entier.

- le "summary for policy-maker", vite perçu comme le seul document vraiment important car "lu par les journalistes", doit être approuvé ligne à ligne par l'Assemblée Générale,
- le "synthesis report", qui dégage les éléments importants pour l'application de la convention-climat, n'engage que le bureau du GIEC et l'équipe de rédaction mais doit être accepté par l'Assemblée Générale. Obtenu en début de processus par Bert Bolin pour avoir une marge de manoeuvre par rapport aux contraintes politiques pesant sur le "summary for policy-maker", ce document ne va pas jouer totalement le rôle attendu, on le verra.

On pouvait donc craindre que seul un consensus mou ne sorte de ce jeu entre scientifiques puis entre scientifiques et politiques. La lecture de certains passages pourrait le laisser penser tant ils fleurent bon l'artefact rhétorique ; en fait, au delà des apparences il y a bien eu production de consensus vrai, même si ce consensus porte moins sur le contenu des réponses que sur la reformulation des questions initiales ou plutôt de la question initiale.

Tout s'ordonne en fait autour de la question "faut-il agir ou pas ?" qui seule, en définitive, intéresse les politiques. On peut même aller plus loin et dire que, malgré les milliers

de pages écrits contre le caractère réducteur des approches coûts-bénéfices, la forme de la réponse attendue par ces politiques était bien en termes de bilan monétaire des coûts et gains de l'action. C'est donc autour du schéma coût-bénéfice que sera construit le rapport avec, on va le voir, des conséquences inattendues sinon surprenantes. Après deux chapitres cadrant la discussion, le rapport expose les concepts clefs de l'analyse coût-bénéfice (dont la question de l'actualisation) puis la question de l'équité. Le chapitre n°6 évalue alors le coût des dommages, avant que les chapitres n°8 et 9 n'aborde les coûts des politiques visant à réduire les émissions. Les chapitres 6-8-9 fournissant les ingrédients de l'analyse coût-bénéfice, il restait au chapitre n° 11 à traiter des instruments d'incitation.

Cette structure du rapport posera des problèmes de cohérence interne révélatrice des impasses intrinsèques de l'analyse coût-bénéfice en ce domaine. Mais rien ne pouvait résister, au départ, aux pressions pour poser les problèmes en ces termes, toute réserve étant assimilée à une diversion, à une posture de verbiage inefficace. Il importe ici de souligner à quel point il y avait ici convergence entre les réflexes des politiques, qui veulent des réponses simples leur simplifiant la tâche, et les scientifiques "durs" qui comprennent mal la réticence à s'appuyer sur des chiffres même s'ils sont convaincus des difficultés de l'exercice (mieux vaut un chiffre faux mais rationnellement réfutable qu'une suite d'arguments littéraires). Il sera d'autant plus

difficile de résister à cette pression que l'approche coût-bénéfice constitue la méthode de référence des économistes professionnels, certains même assimilant le refus d'utiliser de telles méthodes à une rupture par rapport à la discipline.

L'intérêt du rapport du GIEC est de montrer comment, en jouant sérieusement ce jeu là, les équipes mobilisées vont en définitive opérer un intéressant changement des perspectives, et, peut-être aider à "déplacer les regards" sur un problème de forme inédite.

### **Evaluer les coûts du changement climatique ou ... les impasses de la posture scientifique**

Coordonné par David Pearce, le chapitre n° 6 devait constituer une pièce centrale de l'édifice ; il n'en reste pas une ligne dans le "synthesis report", l'histoire vaut d'être contée.

Je passerai très vite sur les difficultés évidentes du chiffrage économique des conséquences du changement climatique : il faudrait en effet être capable de simuler le rythme et la distribution géographique de ce changement, d'en apprécier les impacts sur la biosphère puis sur l'activité économique et enfin sur le "bien-être" des populations. Ces difficultés expliquent que l'immense majorité des économistes se soient gardés de se livrer à un tel exercice, se limitant à la question plus simple (dite coût-avantage) : quel est le coût économique pour réduire les émissions d'un pourcentage donné

à une date donnée ? Les seuls travaux disponibles étaient ceux de Nordhaus (mais il s'agissait plus d'un calcul de coin de table que d'une étude fouillée) de Cline et de David Pearce lui-même (avec Samuel Frankhauser). Un paradoxe largement explicable par la structuration intellectuelle en termes de coût-bénéfice a fait que ces quelques travaux ont donné lieu à un chapitre entier.

Les conclusions de ce chapitre sont que les coûts d'un doublement des concentrations de GES s'étagent entre **1,5% et 2,5% du PIB mondial** et que seule la prise en compte de possibles accidents climatiques est susceptible de conduire à des chiffres plus élevés. Des critiques ont été adressées, *mezzo voce*, par les experts du Groupe II (critique des bases physiques du calcul); plus généralement il fût reproché au chapitre de n'avoir pas examiné en profondeur les conséquences de taux de concentration plus élevés. Mais ces critiques ne furent jamais perçues comme fondamentales; chacun était en effet convaincu de la difficulté de l'exercice et un chiffre moyen de 2% suffisait à justifier un début d'action préventive.

Le problème viendra d'une question inattendue à ce niveau, celle de l'équité. Pour en comprendre l'importance, il faut bien voir qu'il était convenu de séparer soigneusement ce qui relève de l'analyse économique *stricto-sensu* des débats politiquement très sensibles sur ce thème. Au delà de cette simple attitude de prudence politique, la séparation entre équité et efficacité repose sur un théorème

clef de l'économie publique que l'on peut résumer ainsi : déterminons le choix le plus efficace (maximisant le surplus collectif) et laissons au processus politique le soin de décider de la répartition souhaitable des richesses. Ceci s'exprime dans une phrase clef du chapitre 1 : *"it is inappropriate to redress all equity issues through climate change initiatives"*<sup>1</sup>.

Or, pour évaluer le coût de changements, il faut évaluer le coût de la vie humaine. Ceci peut choquer les non économistes mais il faut bien comprendre l'intérêt d'un tel exercice. La croissance du nombre des tornades, cyclones ou maladies tropicales se traduirait par des blessés, des morts ou une croissance des besoins médicaux qu'il faut bien, d'une façon ou une autre comptabiliser comme on le fait pour les investissements de sécurité routière. La solution employée par les rédacteurs sera de s'appuyer sur un concept classique, celui de "valeur statistique" de la vie humaine, grossièrement le coût économique d'une mort prématurée; le résultat immédiat est que la valeur statistique de la vie humaine est directement corrélée à la richesse de l'économie : en d'autres termes, le mort d'un cyclone au Bangladesh vaut moins que le mort d'un cyclone en Floride.

Dans la mesure où les changements climatiques attendus se passeraient majoritairement dans les pays du Sud, une telle procédure minimise les coûts par rapport à une comptabilisation égalitaire, mais ce point de débat apparût bien vite secondaire par rapport au fait même d'évaluer la

vie humaine selon le degré de richesse, procédure dont les délégations des pays en développement ne pouvaient manquer de dénoncer le caractère choquant. Dans un premier temps la réponse de David Pearce fût, dans une réunion des "lead authors" puis devant l'assemblée générale à Montréal, de dire qu'il était mandaté pour reporter des résultats scientifiques, pas pour porter des jugements moraux. Son équipe accepta de placer des "caveat" (avertissements) à quelques endroits du texte pour distinguer entre valeur statistique et jugement éthique mais on fût à deux doigts du retrait pur et simple du chapitre. Le bureau résista à cette idée de façon à éviter une crise et l'assemblée générale se contenta des "caveat" contre une vigilance accrue lors du "summary for policy-maker" et du "synthesis report".

L'affaire rebondit cependant sous l'action du Global Climate Coalition, une ONG très active qui s'était isolée en raison de sa posture agressive et d'un activisme tiers-mondiste trop systématique. Or cette ONG procéda à de nouveaux calculs, sur la base des mêmes principes, pour révéler au delà du caractère éthiquement contestable de l'approche, le non respect de quelques règles scientifiques simples. Je passerai sur les erreurs les plus subtiles concernant l'utilisation des parités de pouvoir d'achat ou le fait qu'en stricte théorie on aurait dû donner une valeur décroissante à l'utilité de la consommation en fonction des revenus, ce qui aurait corrigé les calculs en sens inverse. L'accusation la plus grave porta sur le

fait que les calculs ont été conduits sur la base des niveaux de revenu actuels alors que, en toute logique, il eût fallu tenir compte de la croissance des revenus dans les pays en développement. Pour dire les choses crûment la valeur de la vie des Brésiliens ou des Indiens en 2050 aura crû au prorata de la croissance du PIB/tête dans ces pays.

Cet incident, à la conférence de Rome, révéla à la fois un problème majeur et le fait que les économistes en charge des autres chapitres, de façon dominante très réticents devant l'exercice mais peu désireux d'ouvrir un front de débat jugé secondaire, s'étaient bien gardés d'examiner soigneusement les chiffres. Le résultat fût un écart très important entre le contenu du rapport et celui du "summary for policy-maker", qui ne retient que des formulations très évasives sans citer les calculs et surtout avec le "synthesis report" où le contenu du chapitre n° 6 est tout simplement passé sous silence.

On peut retenir plusieurs leçons de cet incident. La première est bien sûr ce qu'il révèle quant à la difficulté de tenir en ces domaines une posture scientifique indépendante des choix de valeur et sur la vigueur des affrontements potentiels dont la problématique du développement durable est porteuse. La deuxième porte sur la structuration intellectuelle fondamentale du problème ; au-delà en effet des maladroites individuelles et collectives, c'est la décision de partir d'une analyse coût-bénéfice qui portait en germes le fait d'aborder ce type de question. Or

ceci fût en quelque sorte une découverte pour tous ceux qui (représentants politiques, scientifiques durs, économistes mainstream) voyaient dans la discipline de la structure coût-bénéfice une protection contre l'idéologisation des débats.

### **Evaluer les coûts de la réduction des émissions ou ... du jeu symbolique autour des chiffres**

La discussion sur les coûts des politiques de précaution était, contrairement à la précédente, dûment balisée. A priori l'accord semblait impossible entre des modèles prédisant des coûts de 2 à 6-7% du PIB pour une simple stabilisation des émissions et des travaux annonçant la possibilité de pratiquer des baisses drastiques à coût nul, voire en dégageant un double-dividende économique. L'accord s'est cependant fait de façon relativement aisée en partant de deux idées :

- il convenait de démontrer que, derrière les divergences sur les chiffres, il y avait soit des hypothèses numériques différentes soit des visions différentes des mécanismes économiques et que l'explicitation de ces différences était d'ailleurs utile pour apporter quelque clarté dans le débat public,
- pour évaluer les politiques d'abattement, il est parfaitement légitime de raisonner sur plusieurs scénarios de base.

Le chapitre n° 8 a donc été écrit pour clarifier les concepts de coûts

net et brut des politiques climatiques, ceux de "sans regret" ou de "double dividende", mais surtout pour lister les déterminants difficilement pris en compte dans les modèles (évolution des types de développement, rôle de l'informel, évolution spatiale des activités) et qui pourraient déterminer des bifurcations vers des équilibres à long terme totalement différents.

Aucun de ces points n'allait de soi au départ puisque le simple concept d'équilibres multiples revenait à réfuter la prétention de certains modèles à endogénéiser l'ensemble des paramètres importants (une des "tribus" spécialisée dans ces modèles s'est d'ailleurs très rapidement retirée du jeu) et à signaler qu'il y avait autant d'analyses coût-bénéfice possibles qu'il y avait de scénarios de base. Concrètement, cela signifiait qu'une partie importante, voire déterminante pour les pays en développement et les pays de l'Est, du profil d'émissions se jouerait sur des variables de contrôle extérieures aux politiques énergétiques et environnementales (politiques d'infrastructures, dynamiques urbaines, restructuration des systèmes économiques).

En ce qui concerne les politiques de prévention elles-mêmes, l'accord a été facilité par une commune reconnaissance que les approches technico-économiques (bottom-up) mettaient en lumière des potentiels d'abattement à coûts négatifs ou des possibilités d'innovation, mais que ceux-ci ne sauraient être confondus avec des marges de manoeuvre économique réelles. En d'autres termes, l'optimisme technologique ne suffit pas

puisque'il faut démontrer pourquoi des technologies a priori supérieures ne sont pas adoptées par les marchés existants. Passé ce cap, l'opposition entre modèles bottom-up et top-down change de contenu : les divergences ne sont plus dans les modèles mais dans le jugement qu'on porte sur le degré d'imperfection des marchés. Soit on pense en effet que les marchés présentent des obstacles à l'innovation et à l'adoption des technologies optimales et on conclut à un potentiel important de mesures sans-regret. On aboutit à la conclusion inverse si l'on pense que les marchés fonctionnent correctement (la non-adoption de certaines techniques signifie alors qu'elles présentent des "coûts cachés" qu'une étude plus précise des comportements des consommateurs révélerait) ou la correction des imperfections existantes entraînerait des coûts de transaction trop importants.

En définitive, l'équipe de rédaction a accepté d'explicitier dans le chapitre 8 que l'affrontement est moins sur les modèles ou même sur les hypothèses technologiques que sur la vision de l'économie et de son fonctionnement, c'est-à-dire, en fait le rôle de l'Etat. La "conciliation" technique a été scellée d'ailleurs par le traitement macro-économique par Jae Edmonds du scénario Less de Thomas Johansson et qui montrait la tenabilité d'un scénario extrêmement optimiste quant à la technologie. Cette conciliation n'est bien sûr qu'apparente puis-qu'on peut interpréter le résultat de la façon suivante : donnez une hypothèse technologique opti-

miste à un modèle top-down et il conclura à des coûts économiques faibles avec de très faibles taxes-carbone ; mais il faut alors expliquer d'où viennent les technologies si elles ne viennent pas du marché et de signaux-prix conséquents. La réponse en termes de programmes de recherche-développement appelle alors systématiquement le rappel des échecs répétés des programmes financés sur fonds publics, hors programmes militaires et électronucléaires. La phrase clef est : "l'Etat n'est pas le meilleur juge de la façon d'allouer les efforts d'innovation et on devrait tenir compte des coûts d'opportunité des fonds publics puisque, par principe, ces fonds sont dépensés de façon moins efficace que par les agents industriels".

Ce même type de débat a lieu sur le "double-dividende" d'une taxe-carbone. Si l'on admet en effet qu'un certain montant de protection sociale et d'Etat Providence est nécessaire, il est aisé de démontrer, avec un modèle keynésien admettant la possibilité d'un chômage structurel, que la baisse des coûts salariaux (non accompagnée d'une baisse des revenus des ménages) permet de réduire le risque pris par l'entrepreneur à l'embauche et de relancer ainsi l'emploi et la demande finale des biens. Cette vision de l'économie fait bien sûr l'hypothèse d'un fonctionnement imparfait du marché du travail, suppose que les prélèvements publics ne sont pas systématiquement contre-productifs et qu'il existe des distorsions importantes dans les fiscalités existantes. Si, en

revanche, on part d'un modèle d'équilibre général calculable où l'état d'équilibre est spontanément de plein emploi, du moins à long terme, et où les structures fiscales existantes sont considérées comme optimales ou intangibles, ce cercle vertueux ne se produit pas ; il suffit même de faire l'hypothèse du fait que la baisse des charges sociales sera en partie compensée par une hausse des salaires suite aux revendications salariales ou qu'elle facilitera une dérive des dépenses publiques (considérées comme sous-efficaces par rapport à la dépense privée) pour conclure à des coûts économiques importants entraînés par les éco-taxes. On aura compris qu'il a fallu beaucoup d'efforts pour expliquer à nos collègues américains que la position de la majorité des modèles européens n'était pas totalement infondée et que tout dollar dans les poches de l'Etat n'était pas forcément un dollar mal dépensé.

Dans les deux cas, on l'aura remarqué le résultat des modèles est déterminé par des jugements, conjectures, appréciations exogènes. Il y a eu accord pour expliquer qu'*in fine* beaucoup de divergences numériques étaient en réalité dues à des différences dans les "visions du monde" (terme accepté dans le rapport). Ceci a débouché sur une taxonomie utile du concept de sans-regret qui revient, sommairement, à dire que la taille du sans-regret est directement corrélée au jugement porté sur le degré de sub-optimalité de l'économie. Ce résultat peut paraître trivial mais je ne saurais trop en souligner l'importance puisqu'il revient à dire, explicite-

ment, que rien ne sert de masquer sous des arguments techniques des divergences d'un autre ordre.

Les problèmes sont apparus lorsqu'il s'est agi de défendre le texte du "summary for policy-maker" en séance plénière. Sa rédaction revenait à exposer la dispersion des résultats et à l'expliquer en des termes qui permettraient d'en apprécier la portée décisionnelle : par exemple, les modèles où une taxe-carbone est recyclée par une baisse forfaitaire des autres prélèvements concluent à un bilan négatif alors qu'un recyclage ciblé sur une baisse des charges pour les bas salaires obtient un résultat inverse ; de même, si l'innovation permet à long terme de baisser le coût de la réduction des émissions de GES<sup>2</sup>, le bilan économique global est directement fonction des hypothèses sur l'écart d'efficacité entre investissement public et investissement privé. Une conclusion plus positive étaient tirée cependant sur l'intérêt de mettre en jeu rapidement les potentiels d'économie d'énergie à coûts négatifs et de lancer aussi vite que possible les signaux appropriés pour favoriser l'innovation. En d'autres termes, la rédaction du rapport et des conclusions insistait sur le fait que les apports des modèles résidaient non pas dans les valeurs numériques mais dans une meilleure compréhension des déterminants des coûts et dans un "cadrage" plus précis des débats.

Les critiques reçues montrent que l'effort d'explicitation et le caractère équilibré du rapport furent en général appréciés ; en revanche nous fûmes poliment mais fermement priés par le bureau du GIEC

de nous engager sur des chiffres, ce que nous avons soigneusement évité de faire pour ne pas briser un consensus inespéré. Cette pression du bureau s'explique certes par un réflexe de scientifique, mais elle retranscrit à nouveau une "demande sociale" et la pesanteur logique du choix initial en faveur du coût-bénéfice. Dans la mesure où l'équipe du chapitre 6 avait accepté de publier des chiffres sur les coûts du changement climatique, il fallait que nous nous engagions : selon que nos chiffres étaient inférieurs ou supérieurs à une fourchette comprise entre 1,5 et 2,5% du PIB, les tenants de l'action préventive l'emportaient ou perdaient la bataille.

C'est à ce niveau que l'influence politique fut déterminante, en particulier celle de l'administration américaine. Il importe de souligner ici à quel point l'appui de nos collègues scientifiques américains fût total : ils avaient "fait leur job", en trouvant un compromis qu'ils jugeaient acceptable, et s'y tinrent jusqu'au bout, le mot acceptable étant directement entendu ici dans un sens politique. La logique du compromis était d'expliquer que les coûts de la prévention pouvaient être élevés en cas de politique mal pensée, mais qu'un calibrage intelligent devrait permettre de limiter ces coûts à une valeur inférieure aux fatidiques 2% du PIB, voire, pour les plus optimistes à des valeurs nulles ou légèrement négatives.

Deux vraies forces d'influence subsistaient à ce moment, les pays européens pouvant simplement intervenir pour contrebalancer : le Global Climate Council, représen-

tant l'aile dure du lobby charbonnier aux USA, et le représentant du DOE<sup>3</sup>, chef de la délégation US. L'objectif du premier était simple : éviter que ne soient publiés des chiffres accréditant l'idée que la lutte contre l'effet de serre puisse se faire à coûts négatifs. Il fallait donc obtenir le retrait de ces chiffres, en particulier en exigeant que soient simultanément publiés les derniers chiffres du Charles River Associated, à savoir des coûts allant de 4% à 8% du PIB pour l'économie américaine, dans un simple scénario de stabilisation des émissions. L'objectif de l'administration US était très directement lié à la conjoncture politique interne avec une administration Clinton bloquée par une chambre républicaine ultra-libérale contestant tout rôle d'une administration publique dans les politiques énergétiques et environnementales (tout le budget de l'EPA<sup>4</sup> avait été un temps supprimé). Il lui fallait donc montrer qu'elle défendait les intérêts de l'industrie nationale, ce qu'elle fit de façon plutôt agressive, allant même jusqu'à avancer que ces modèles étaient "in their infancy" et qu'ils ne pouvaient prétendre représenter les dures réalités de l'économie américaine. Il lui fallait aussi bien évidemment ne pas se déjuger totalement sur l'arène internationale et par rapport aux thèmes initiaux de l'administration démocrate. Il a fallu donc deux heures d'interruption de séance pour obtenir ces quelques phrases anodines concernant l'OCDE *"Although it is difficult to generalize, top-down analyses suggest that the costs of substantial reductions below 1990 levels could be as high as several*

per cent of GDP. In the specific case of stabilizing emissions at 1990 levels, most studies estimate that annual costs in the range of 0.5% of GDP (equivalent to a gain of about \$60 billion in total for OECD countries at today's GDP levels) to 2% of GDP (equivalent to a loss of about \$240 billion) could be reached over the next several decades. However, studies also show that appropriate timing of abatement measures and the availability of low-cost alternatives may substantially reduce the size of the overall bill<sup>5</sup>. La construction rhétorique retenue permettait :

- d'ignorer les extrêmes par un "most studies"
- de reconnaître la possibilité de "coûts négatifs" en affichant un 0,5%
- ce qui était contrebalancé par des coûts allant jusqu'à "several" per cent au lieu de "a few" per cent of GDP en cas d'objectifs plus ambitieux que la simple stabilisation des émissions.
- et de nuancer le tout en disant qu'un timing approprié permettrait de limiter les coûts globaux.

On était donc ici bien loin de la science pure. Faut-il s'en étonner ou le regretter ? Fausse question je pense. Si l'on y réfléchit bien en effet, il y a eu connivence, lobby charbonnier excepté, pour garder le débat ouvert, pour ne pas fermer la porte à des débats et des études ultérieures, tout en passant quand même le message que, sauf à prendre des mesures inconsidérées, des politiques de prévention méritaient d'être discutées car

elles n'engendreraient pas forcément des troubles économiques majeurs. Bien sûr, le balancement rhétorique introduit symétriquement le fait que des politiques mal dessinées entraîneraient des coûts importants, mais ce point est une évidence et porte peu à conséquence.

### **Le message essentiel : décision séquentielle et précaution**

La contradiction centrale mais en même temps l'intérêt du rapport vient du fait que, construit autour d'une structure coût-bénéfice, il fait apparaître, dans les chapitres n°8 et 9 l'importance du timing des décisions et de la course de vitesse entre la croissance de émissions dans le scénario de base et celle du progrès technique "carbon saving". Plus encore, dans les chapitres 1 et 2, une théorisation d'ensemble rédigée sur le tard, recadre les logiques décisionnelles pertinentes en situation de grande incertitude et d'inerties technico-économiques.

L'idée est très simple puisqu'il s'agit de celle d'une approche séquentielle à la décision. "The challenge is not to find the best policy today for the next 100 years, but to select a prudent strategy and to adjust it over time in the light of new information"<sup>6</sup>. Cette phrase peut paraître ex-post de bon sens mais il faut bien voir qu'elle contredit frontalement un autre "bon sens", celui de l'analyse coût-bénéfice appliquée à un problème de très longue portée. Le rapport final du GIEC est donc en partie schizophrène puisqu'il

démarre, dans ses deux premiers chapitres sur un recadrage qui aurait dû rendre caduque la structure primitive du rapport : une approche séquentielle à la décision relativise par exemple l'intérêt de chiffrages fragiles des coûts du changement climatique sur le très long terme, ou le caractère central de la discussion sur le bon taux d'actualisation ; elle ramène en effet l'attention sur les points de passages, transitions et bifurcations de court et moyen terme.

L'important est que ce changement de perspective a été opéré sous la houlette de deux personnages clefs de la communauté des économistes : K. Arrow, prix Nobel et "inventeur" avec Debreu de la théorie de l'équilibre général, J. Stiglitz, théoricien de premier plan et membre du cabinet Clinton. Cette double paternité rendait la mutation intellectuelle légitime ; la rhétorique de la théorie économique permettait d'ailleurs d'opérer cette mutation sans reniement explicite puisqu'il suffisait de dire qu'une stratégie séquentielle revenait à opérer une série d'analyses coût-bénéfice à divers points du temps. En dehors de sa justesse intellectuelle, elle facilitait d'ailleurs un rapport consensuel car l'idée du "timing" pouvait être approuvée à la fois par les tenants de l'action et de l'inaction au nom de deux interprétations toutes deux tenables mais qui permettaient de lancer des signaux politiques tout à fait différents, en direction de "publics" différents :

- pour les seconds, cela permettait de bien souligner les risques réels

d'une action prématurées d'abattement qui se traduirait par une obsolescence accélérée des équipements existants et ne permettraient pas de profiter de la pénétration des innovations,

- pour les premiers, cela permettait de faire d'une combinaison de mesures "sans regret" et de signaux destinés à accélérer l'innovation la première étape d'une stratégie de long terme, et de laisser la porte ouverte à des abattements plus drastiques dans une deuxième étape.

Entendu correctement, ce message aurait sans nul doute relativisé l'importance de la lourde négociation sur les chiffres décrite plus haut : mais il est vrai que cette négociation avait un enjeu hautement symbolique.

### **En guise de conclusion : de l'intérêt de la tension assumée entre scientifiques et représentants politiques**

Le résultat du processus paraîtra-t-il décevant à un regard extérieur, je ne puis en juger. Il est clair en tous cas que nous ne sommes pas dans un contexte de science "pure" de liberté négociée ; mon jugement est, en définitive, qu'il est bien qu'il en soit ainsi. De façon plus précise, je dirais que la science est toujours, quoi qu'on en dise, en liberté négociée et qu'il est mieux que les règles de cette négociation soient clairement affichées, ce qui était le cas pour le GIEC. L'intérêt de ce dispositif est double :

- pour les scientifiques tout

d'abord : devoir s'exprimer sous le regard d'autrui a constitué un antidote efficace contre le comportement tribal et permis de réduire les divergences à celles qui importent réellement. Il fallait aussi apprendre qu'il ne peut pas ne pas exister d'interaction entre les programmes de recherche (*sui generis*) et les questions posées par les acteurs sociaux,

- pour les décideurs eux-mêmes, puisqu'il leur fallait en retour intégrer les contraintes internes du langage scientifique, exprimer leurs refus ou craintes sous forme rationalisable, objectivable, et accepter d'être amenés peu à peu à une mutation du regard, à une reformulation des questions initiales.

Certes nous ne sommes qu'au début du chemin et l'influence intellectuelle du rapport sur les décisions ne pourra être jugée qu'une fois diffusée sa version publique.

En revanche, dans la mesure où une scène publique est créée, il convient de faire attention aux procédures "d'entrée en scène". Ce qui saute aux yeux en effet est la surdomination des USA et de quelques pays d'Europe du Nord à la fois au niveau de l'expertise et du contrôle politique et, symétriquement, la faible présence du Tiers-Monde malgré l'émergence de l'Inde et du Brésil.

Un tel état de fait ne traduit pas seulement les rapports de force existants au plan scientifique et diplomatique. Il traduit aussi la façon dont chaque pays prend au sérieux la question de l'effet de serre ou, tout au moins, l'impor-

tance symbolique de ce type de scène internationale. J'ai par exemple personnellement reçu quelque trente pages de commentaires simple interligne sur les chapitres 8 et 9 de la seule administration américaine, quatre de la RFA ou du Royaume-Uni, contre quelques lignes de la France et zéro de l'Italie. Renseignements pris, le rapport du groupe III a été envoyé à quelque 200 à 300 experts par l'administration US : no comment !

Cette capacité de pression, directement politique, s'est traduite lors du "synthesis report" alors que celui-ci devait initialement constituer une marge de liberté pour Bert Bolin et l'équipe du GIEC. L'équipe réunie à cet effet (quelque 20 personnes) avait accouché d'un premier brouillon de rapport qui a bien sûr circulé. Dans une lettre très chaleureuse à en tête du département d'Etat, un conseil fût donné au bureau du GIEC de s'en tenir au plus près de la rédaction des summary report ... pour éviter des "malentendus" où le GIEC serait accusé de sortir de son rôle et de distordre les conclusions, ceci au risque de voir l'assemblée générale passer tant de temps pour surmonter ces malentendus que la session de Rome s'avérerait trop courte pour l'acceptation du rapport. Comme il y avait en sus incertitude sur le financement d'une session complémentaire, il valait mieux tenir compte de ce conseil ; ceci fût fait sous la forme d'un texte constitué pour l'essentiel d'une série de couper-coller des summary for policy-makers. Techniquement en effet, cela a permis de répondre aux délégations

tions trop sourcilleuses que tel membre de phrase ne posait pas problème puisqu'il avait en fait déjà été voté.

Ceci ne doit surtout pas être lu comme une accusation de plus contre l'impérialisme culturel américain. Au contraire, il faut bien comprendre que, dans un tel

jeu, chacun joue légitimement sa partition. Celle de l'administration US était très naturellement de tracer une ligne rouge entre ce qui était acceptable et ce qui ne l'était pas en fonction de sa propre compréhension des rapports de force idéologiques aux USA. Elle fit tout pour rendre le rapport acceptable dans un tel contexte,

simplement pour préserver l'avenir du processus. Le problème vient surtout de l'absence des "autres". En d'autres termes, le processus GIEC est une machine à traduire dans les faits l'antique adage augustinien : "*audi alteram partem*"; encore faut-il que toutes les parties à écouter s'expriment. ■

### Notes

- 1 *"Il n'est pas approprié de chercher à résoudre l'ensemble des problèmes qui se posent en matière d'équité au travers des politiques relatives au changement climatique"*
- 2 GES : gaz à effet de serre
- 3 DOE : Department of Energy (ministère américain de l'énergie)
- 4 EPA : Environmental Protection Agency
- 5 Climate Change 1995 : IPCC Second Assessment Report, p. 53, *"Bien qu'il soit difficile de généraliser, les analyses descendantes indiquent que le coût de réductions substantielles permettant de ramener le niveau des émissions au-dessous de celui de 1990 pourrait atteindre plusieurs points de pourcentage du PIB. Dans le cas précis d'une stabilisation des émissions au niveau de 1990, la plupart des études estiment que le coût annuel se situe entre - 0,5% du PIB (ce qui équivaut à un gain total d'environ 60 milliards de dollars pour les pays de l'OCDE, au niveau actuel du PIB) et +2% du PIB (ce qui équivaut à une perte d'environ 240 milliards de dollars) pour les prochaines décennies. Cependant, des études indiquent également qu'un choix convenable du calendrier d'application des mesures d'abatement et la possibilité d'adopter des solutions de remplacement à bas prix pourraient réduire sensiblement la facture globale."*
- 6 Climate Change 1995 : IPCC Second Assessment Report, p. 45, *"Le problème n'est pas de définir aujourd'hui la meilleure politique pour les cent ans à venir, mais de choisir une stratégie prudente et de l'adapter ultérieurement en fonction des nouvelles informations disponibles."*



# Aspects socio-économiques de l'évolution du climat

## *Résumé à l'intention des décideurs*

**Groupe de travail III du GIEC**  
(Version provisoire du texte officiel)

### **1. Introduction**

Le Groupe de travail III du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), constitué en novembre 1992, a été chargé de procéder à des "évaluations techniques des aspects socio-économiques des effets de l'évolution du climat, de l'adaptation à ces incidences et de son atténuation, à court et à long terme et sur les plans régional et mondial". Prenant acte de ses responsabilités, le Groupe de travail III a d'autre part précisé dans son plan de travail qu'il situerait les perspectives socio-économiques dans le contexte du développement durable et que, conformément à la Convention-cadre des Nations Unies (CCNUCC) sur les changements climatiques, il travaillerait de façon globale, envisageant l'ensemble des sources, des puits et des réservoirs de gaz à effet de serre, l'adaptation au changement climatique et la totalité des secteurs économiques concernés.

Ce rapport est fondé sur l'évaluation d'une bonne partie de la littérature publiée sur les aspects socio-économiques du changement climatique<sup>1</sup> et identifie les domaines dans lesquels un consensus s'est dégagé à propos des questions clés, ainsi que ceux dans lesquels des différences apparaissent. Les chapitres du document ont été agencés de façon à couvrir plusieurs grandes questions. On y trouvera tout d'abord la présentation du contexte d'une évaluation socio-économique des coûts et des bénéfices d'une intervention ou d'une non-intervention, particulièrement en ce qui concerne l'applicabilité de l'analyse coûts-bénéfices, la prise en compte de l'équité et des considérations d'ordre social et les questions d'équité intergénérationnelle. Sont ensuite passés en revue les bénéfices économiques et sociaux d'une limitation des émissions de gaz à effet de serre et d'une augmentation des puits. On y trouvera en troisième lieu une évaluation du coût économique, social et écologique de l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre,

puis une évaluation générale des mesures d'atténuation et d'adaptation, un résumé des méthodes permettant d'estimer le coût et l'efficacité des diverses mesures et une discussion des techniques d'évaluation intégrée. Enfin le rapport présente une évaluation économique des instruments de lutte contre le changement climatique.

Conformément au plan de travail convenu, la présente évaluation de la littérature socio-économique relative au changement climatique est axée sur les travaux économiques. La matière fournie par les autres sciences sociales se trouve principalement dans le chapitre sur l'équité et les considérations d'ordre social. Le rapport est une évaluation de l'état actuel des connaissances - ce que nous savons et ce que nous ignorons - et ne vise pas à prescrire une politique à suivre. Les pays pourront faire appel à cette information comme aide à la prise de décisions qui, à leur sens, sont les plus appropriées eu égard à leurs circonstances spécifiques.

## 2. Portée de l'évaluation

L'évolution du climat présente pour les décideurs un redoutable ensemble de difficultés: des incertitudes considérables inhérentes à la complexité du problème, le risque de coûts ou de dommages irréversibles, de longs horizons temporels pour la planification, un décalage important entre les émissions et leurs conséquences, de vastes différences régionales dans les causes et les effets, un problème d'envergure irréductiblement planétaire et de nombreux gaz à effet de serre et aérosols à considérer. Le fait que la protection efficace du système climatique exige une collaboration à l'échelle mondiale complique encore la situation.

La littérature fournit toutefois de nombreuses informations pouvant se révéler utiles aux décideurs;

- Les analyses indiquent qu'il est prudent, pour s'attaquer au problème de l'évolution du climat, de passer par toute une gamme de mesures d'atténuation, d'adaptation et d'approfondissement des connaissances. La gamme appropriée dépend de chaque pays. Le problème, n'est pas de définir aujourd'hui la meilleure politique pour les cent ans à venir, mais de

choisir une stratégie avisée et de l'adapter ultérieurement à la lumière des progrès des connaissances.

- Des mesures précoces d'atténuation sont susceptibles de donner davantage de souplesse en vue de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (article 2 de la Convention-cadre sur les changements climatiques). Le choix des trajectoires de réduction des émissions exige de mettre en balance les risques économiques d'une réduction rapide dès maintenant (un remplacement prématuré des équipements pouvant s'avérer inutile par la suite) et les risques correspondants d'une temporisation (une réduction plus rapide pouvant alors s'avérer nécessaire, ce qui rendrait nécessaire le remplacement prématuré des équipements futurs).

- La littérature indique que la plupart des pays ont la possibilité de prendre des mesures "sans regrets"<sup>2</sup>. Le risque global net de dommages imputables à l'évolution du climat, la prise en compte de l'aversion pour le risque et le principe de précaution justifient l'adoption de mesures plus ambitieuses que les mesures " sans regrets ".

- L'amélioration de l'information sur les mécanismes et les incidences de l'évolution climatique ainsi que sur les façons de réagir à cette évolution devrait avoir un intérêt considérable. La littérature accorde une importance toute particulière aux informations relatives à la sensibilité du climat aux gaz à effet de serre et aux aérosols, aux fonctions de calcul du dommage résultant des changements climatiques et à des variables telles que les facteurs déterminant la croissance économique et les taux d'accroissement du rendement énergétique. L'amélioration de l'information sur le coût et les bénéfices des mesures d'atténuation et d'adaptation et sur leur évolution possible au cours des décennies à venir est également précieuse.

- L'analyse des problèmes économiques et sociaux liés à l'évolution du climat, surtout dans les pays en voie de développement où peu de travaux ont été réalisés dans ce domaine, constitue une priorité élevée en matière de recherche. De façon plus générale, il existe un besoin d'information sur l'évaluation et l'analyse intégrées de la prise de décision en matière de changement climatique. Il existe également un besoin de données permettant de mieux comprendre,

du point de vue économique, la non-linéarité de la croissance économique et les nouvelles théories concernant cette croissance. Les activités de recherche-développement portant sur des techniques d'amélioration du rendement énergétique et sur des sources d'énergie non fossiles offrent aussi un grand intérêt. Il existe en outre un besoin de recherche sur le développement de modes de consommation écologiquement viables.

Les mesures possibles que les décideurs pourraient envisager, conformément aux accords internationaux applicables, dans le but de mettre en oeuvre une politique à faible coût et/ou à bon rapport coût-efficacité permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'adapter la société à l'évolution du climat comprennent par exemple:

- des mesures favorisant le rendement énergétique, et notamment l'élimination des obstacles institutionnels qui entravent les progrès dans ce domaine;
- la suppression des pratiques actuelles génératrices de distorsions entraînant une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, comme certaines subventions et certains règlements, les mécanismes de prix ne reflétant pas les coûts pour l'environnement et les distorsions dans le prix des transports;
- des mesures de bon rapport coût-efficacité visant à remplacer les combustibles à teneur élevée en carbone par des combustibles à faible teneur en carbone et par des sources d'énergie non basées sur le carbone telles que les énergies renouvelables;
- des mesures visant à l'augmentation des puits ou des réservoirs de gaz à effet de serre, par exemple l'amélioration des pratiques de gestion des forêts et d'utilisation des sols;
- la mise en oeuvre de mesures et le développement de nouvelles techniques visant à réduire les émissions de méthane, de protoxyde d'azote et d'autres gaz à effet de serre;
- l'incitation à diverses formes de coopération internationale en vue de limiter les émissions de gaz à effet de serre, par exemple en coordonnant la mise en place de taxes sur le carbone et l'énergie, par des activités exécutées conjointement et en fixant des contingents d'émissions négociables;
- la promotion du développement et de l'application

de normes d'efficacité énergétique aux niveaux national et international;

- la promotion de mesures volontaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre;
- la mise en oeuvre de mesures d'éducation et de formation ainsi qu'en matière d'information et de conseil sur le développement durable et les modes de consommation permettant d'atténuer l'évolution du climat et de s'y adapter;
- l'élaboration et la mise en place de mesures d'adaptation aux conséquences de l'évolution du climat;
- le lancement de recherches visant à mieux comprendre les causes et les répercussions de l'évolution du climat et l'adaptation à cette évolution;
- l'exécution de recherches techniques dans le but de réduire au minimum les émissions de gaz à effet de serre dues à l'emploi continu de combustibles fossiles et de développer des sources d'énergie commerciales non fossiles;
- l'amélioration de mécanismes institutionnels tels que les dispositions en matière d'assurances, en vue de répartir les risques de dommages dus à l'évolution du climat.

## Contribution de la science économique

Les projections concernant les coûts et bénéfices de la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dépendent notamment de la concentration finale visée, de la trajectoire des émissions choisie pour atteindre cette concentration, du taux d'actualisation et des hypothèses concernant le coût et la disponibilité des technologies et des pratiques.

Il est couramment admis que malgré son usage répandu pour évaluer les politiques économiques, le produit intérieur brut est un indicateur imparfait de la santé d'une société, du fait essentiellement qu'il ne prend pas en compte la dégradation de l'environnement et des systèmes naturels. Il existe d'autres méthodes qui tenent de mieux refléter ces valeurs non-marchandes et la soutenabilité sociale et écologique. Ces méthodes permettent d'appréhender de façon plus complète la mesure dans laquelle l'évolution du climat est susceptible d'influer sur le bien-être de la société.

Etant donné l'interdépendance du système économique mondial, les tentatives d'atténuer le changement climatique en intervenant dans une région ou dans un secteur donné risquent d'avoir des effets économiques compensateurs tendant à accroître les émissions dans d'autres secteurs ou régions (cet effet est appelé « délocalisation »). Ces délocalisations d'émissions peuvent être réduites grâce à une action coordonnée entre divers groupes de pays.

Selon la littérature, des politiques souples et d'un bon rapport coûts-efficacité reposant sur des incitations et des instruments économiques ainsi que la coordination des instruments devraient pouvoir réduire considérablement le coût d'atténuation ou d'adaptation ou accroître la rentabilité et l'efficacité des mesures de réduction des émissions.

### Considérations sur l'équité

En matière de questions et principes d'équité liés aux émissions de gaz à effet de serre, il est important que les politiques envisagées tiennent compte en particulier des articles 3, 4.2a et 11.2 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, du principe 2 de la Déclaration de Rio et des principes généraux du droit international.

Les analyses scientifiques ne peuvent dicter la façon dont les principes d'équité doivent être appliqués en mettant en oeuvre la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, mais elles peuvent clarifier les implications des différents choix possibles et leur fondement éthique.

Les pays en voie de développement ont besoin d'appuis pour renforcer leurs capacités propres et institutionnelles afin de pouvoir participer effectivement aux décisions concernant l'évolution du climat.

Il est important de tenir compte à la fois du souci d'efficacité et de celui d'équité lors de l'analyse des mesures d'atténuation et d'adaptation. Pour les besoins d'analyse, il est possible de séparer efficacité et équité. Cette séparation analytique présuppose, aux fins de la prise de décision politique, l'existence ou la possibilité de créer des institutions compétentes habilitées à répartir de manière appropriée le coût du

changement climatique, et n'est valable qu'à cette condition. Il pourrait être utile d'analyser les implications sur le plan de l'équité de certaines mesures visant à l'efficacité et de se pencher notamment sur leurs aspects et leurs impacts sociaux.

### 3. Cadre décisionnel pour faire face à l'évolution du climat

L'évolution du climat étant une question d'envergure mondiale, une analyse globale des mesures en matière d'atténuation, d'adaptation et de recherche est nécessaire pour déterminer la stratégie la plus efficace et la plus appropriée pour aborder ce problème. Les décisions à prendre sur le plan international pour faire face à l'évolution du climat, définies par la CCNUCC, relèvent d'un processus collectif devant tenir particulièrement compte, dans l'intérêt des générations actuelles et à venir, de questions telles que l'équité, l'écologie, l'économie, l'éthique et la pauvreté. Jusqu'à présent, la littérature portant sur l'économie internationale de l'environnement et notamment sur l'évolution du climat ne dit pas grand-chose de la façon d'aborder le processus de prise de décision face à l'incertitude, de l'aversion pour le risque, du développement et de la diffusion des techniques ainsi que des questions de répartition.

Les décisions relatives à l'évolution du climat doivent prendre en compte les caractéristiques propres du "problème": de vastes incertitudes (scientifiques et économiques), des processus probablement non linéaires et irréversibles, une répartition asymétrique des impacts dans l'espace et le temps, des horizons temporels très longs, l'envergure mondiale du phénomène et le potentiel associé de comportements de "passagers clandestins". Outre les incertitudes scientifiques (discutées dans le volume sur la science du changement climatique du Deuxième rapport d'évaluation (DRE) du GIEC) et les incertitudes quant aux conséquences (discutées dans le volume sur les analyses scientifico-techniques des conséquences du changement climatique, des adaptations à ce changement et son atténuation du Deuxième rapport d'évaluation (DRE) du GIEC), il existe des *incertitudes socio-économiques* quant à la mesure dans laquelle l'évolution du climat va affecter la société – notamment de façon directe sur le plan économique et

sur celui, plus large, du bien-être - et également quant aux répercussions socio-économiques de l'atténuation des émissions.

L'autre aspect qui accroît les incertitudes et complique le processus de décision est d'ordre *géographiques*: l'évolution du climat est un problème d'envergure mondiale qui touche un ensemble extraordinairement divers de sociétés humaines ayant des histoires, des situations et des capacités très différentes. De nombreux pays en voie de développement se trouvent dans des régions relativement chaudes, dépendent largement de l'agriculture et disposent d'une infrastructure et de structures sociales peu développées. C'est pourquoi ils risquent de souffrir plus que la moyenne de l'évolution du climat, peut-être même beaucoup plus. L'évolution du climat pourrait aussi avoir des incidences importantes dans les pays développés.

La littérature souligne également que la temporisation est elle-même une décision coûteuse. Selon certaines études, son coût serait peu élevé. Selon d'autres, elle imposerait des risques à toutes les parties, surtout les plus vulnérables, une plus grande utilisation d'une capacité de l'atmosphère limitée et l'éventuel report de progrès techniques souhaitables. Aucun consensus ne se dégage de la littérature.

La nature planétaire du problème, qui nécessite une action collective de la part d'Etats souverains, et les situations très diverses des différentes parties posent des problèmes de conséquences et de procédure. Les questions de conséquences ont trait aux résultats alors que les questions de procédure ont trait à la façon de prendre les décisions. En ce qui concerne l'évolution du climat, l'existence d'un cadre juridique établi implique un processus collectif dans un contexte de négociation (la CCNUCC). C'est ainsi qu'il existe trois catégories distinctes de cadres décisionnels, dont les objets et les implications diffèrent: l'optimisation à l'échelle planétaire (recherche de résultats optimaux sur le plan mondial), la prise de décision procédurale (règles de procédure) et la prise de décisions collective (problèmes de répartition, décideurs multiples et indépendants).

L'augmentation au cas du changement climatique de la littérature relative à la prise de décision fournit des

éléments permettant d'élaborer une stratégie collective et/ou axée sur le marché visant à partager les risques et à obtenir des bénéfices mutuels. Selon cette littérature, il faudrait que les mesures soient séquentielles (échelonnées dans le temps), que les pays adoptent un train de mesures en matière d'atténuation, d'adaptation et de recherche et qu'ils l'ajustent constamment en fonction des nouvelles connaissances. On peut considérer la possibilité du transfert de ressources financières et de technologies vers les pays en voie de développement comme s'inscrivant dans un cadre analytique global.

Certains éléments d'une stratégie axée sur le marché ont trait à *l'assurance et au marché des risques*. La mise en commun des risques ne change rien à leur gravité, mais elle est susceptible d'accroître l'efficacité et le bien-être économiques. Bien qu'il n'existe pas actuellement d'assurance permettant de partager les risques de l'évolution du climat à l'échelle planétaire, une collaboration dans un cadre collectif tel que celui de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques peut avoir un avantage considérable: celui du partage des risques. Il est difficile d'assurer les risques entraînés par l'évolution du climat<sup>3</sup>, et la communauté internationale n'a pas encore adopté d'instruments aussi perfectionnés. Cela n'empêche cependant pas qu'à l'avenir, des accords internationaux puissent définir un marché suffisant à assurer certains besoins d'ordre international.

#### **4. Equité et considérations d'ordre social**

L'équité est un aspect important des politiques climatiques et de la Convention-cadre. Dans le langage courant, le mot équité désigne la qualité "de ce qui est impartial" ou "de ce qui est conforme à la justice naturelle". La CCNUCC, dont les articles 3.1, 4.2.a et 11.2 font référence à l'équité, définit le contexte d'une action visant à ce que les principes de l'équité soient appliqués à la poursuite de ses buts et de son objectif. Le droit international, et notamment les décisions pertinentes de la Cour internationale de justice, peut donner également des indications.

Divers principes éthiques, dont l'importance de satisfaire les besoins fondamentaux de l'individu, peuvent

s'appliquer à l'évolution du climat, mais l'application aux rapports entre Etats des principes établis pour guider les comportements individuels est complexe et tortueuse. Les politiques relatives aux changements climatiques ne doivent ni aggraver les disparités régionales existantes ni chercher à résoudre l'ensemble des problèmes qui se posent en matière d'équité.

La question de l'équité soulève des problèmes de procédure et de conséquences. Les problèmes de procédure ont trait à la façon de prendre les décisions alors que les problèmes de conséquences ont trait aux résultats. Pour que des accords soient efficaces et incitent à la coopération, ils doivent être considérés comme légitimes, et l'équité est un facteur important de légitimation.

L'équité en matière de procédure implique des questions de démarche et de participation. Elle suppose que toutes les Parties puissent participer effectivement aux négociations internationales sur les changements climatiques. Des mesures appropriées visant à permettre aux pays en voie de développement de participer effectivement à ces négociations augmentent les chances de conclure des accords efficaces, durables et équitables sur la meilleure façon de faire face à la menace posée par l'évolution du climat. Le souci d'équité et les répercussions sociales de cette évolution font ressortir la nécessité de renforcer les capacités propres et institutionnelles, surtout dans les pays en voie de développement, afin que des mesures collectives puissent être définies et appliquées de façon légitime et équitable.

L'équité en matière de conséquences comporte deux aspects: la répartition du coût des dommages ou de l'adaptation et du coût des mesures d'atténuation du changement climatique. Comme les pays sont extrêmement différents de par leur vulnérabilité, leur richesse, leurs capacités, leurs ressources et autres éléments cités ci-après, les coûts des dommages, de l'adaptation et de l'atténuation risquent d'être supportés de façon inéquitable s'ils ne sont pas abordés explicitement.

Il est probable que l'évolution du climat impose des coûts aux générations à venir et aux régions touchées, notamment celles où les émissions de gaz à effet de serre sont faibles. Les incidences de cette évolution

seront inégalement réparties.

L'article 3.1 de la Convention-cadre reconnaît le principe de la responsabilité commune mais différenciée et des capacités respectives des Parties. Des mesures allant au-delà d'une politique "sans regrets" imposent des coûts à la génération actuelle. Une politique d'atténuation pose inévitablement le problème du partage de ces coûts. Les intentions initiales des Parties figurant à l'Annexe I en ce qui concerne la limitation des émissions constituent un premier pas collectif de ces Parties face à l'évolution du climat.

Les arguments liés à l'équité peuvent sous-tendre diverses propositions de répartition des coûts de l'atténuation. La plupart de ces propositions s'articulent sur deux grandes approches: une allocation basée sur un niveau d'émissions par habitant égal pour tous les pays et une allocation fondée sur l'écart par rapport à un niveau national de référence (actuel ou projeté). Certaines propositions combinent ces approches afin de prendre en compte les considérations d'équité qui seraient négligées si l'on faisait appel à une seule de ces approches. Le GIEC peut expliquer scientifiquement les implications des diverses approches et propositions, mais le choix de celles-ci relève d'un jugement politique.

Il existe, tant parmi les pays développés que parmi les pays en voie de développement, des différences considérables qui influent sur l'application des principes de l'équité à la prévention du changement climatique. Ces différences portent sur les niveaux d'émission antérieurs et cumulatifs, sur leur niveau actuel total et par habitant, sur leur intensité et sur la production économique, ainsi que sur d'autres facteurs tels que la richesse, les structures énergétiques et les ressources disponibles. La littérature est évasive en ce qui concerne les répercussions de ces différences sur l'équité dans les pays développés et en voie de développement.

En outre, les incidences de l'évolution du climat ne sont pas les mêmes pour les pays en voie de développement et pour les pays développés. Les premiers, qui ont souvent des priorités différentes et des institutions plus faibles, sont généralement plus vulnérables face au changement climatique. Il est probable cependant

que la part des émissions dues aux pays en voie de développement va encore s'accroître en raison de leurs besoins dans le domaine social et en matière de développement. Il est probable que les émissions de gaz à effet de serre vont prendre une dimension de plus en plus universelle malgré la persistance de disparités considérables en termes d'émissions par habitant.

Il est important de tenir compte des questions d'efficacité et d'équité dans l'analyse des mesures d'atténuation et d'adaptation. Il pourrait être utile de considérer les implications sur le plan de l'équité de certaines mesures visant à l'efficacité, et notamment leurs conséquences sociales.

## 5. Équité entre générations et actualisation

La politique en matière de changement climatique, comme beaucoup d'autres questions stratégiques, pose des problèmes particuliers d'équité entre générations, car les générations à venir ne sont pas en mesure d'influer directement sur les politiques adoptées aujourd'hui qui pourraient se répercuter sur leur bien-être, et du fait qu'il ne sera peut-être pas possible de les dédommager pour la réduction de leur bien-être que ces politiques auront entraîné.

Le développement durable est une approche permettant d'assurer l'équité entre générations, car il vise à répondre "aux besoins des générations actuelles sans compromettre la capacité des générations futures à faire face à leurs propres besoins"<sup>4</sup>. Les économistes s'accordent à dire qu'il n'est pas nécessaire pour autant d'assurer aux générations à venir la même quantité de chacune des ressources. Un développement durable exige néanmoins que l'exploitation des ressources naturelles épuisables et la dégradation de l'environnement soient convenablement contrebalancées, par exemple par une augmentation des actifs de production suffisant à ce que les générations à venir aient un niveau de vie au moins égal à celui d'aujourd'hui. La littérature met en lumière des opinions diverses sur la mesure dans laquelle l'infrastructure et les connaissances peuvent servir de substitut aux ressources naturelles telles qu'un environnement sain. Cette question est essentielle pour

l'application de tels principes. Pour certains analystes, il existe des ressources uniques et absolument irremplaçables. Pour d'autres, les générations actuelles peuvent compenser la réduction qualitative et quantitative des ressources écologiques en augmentant d'autres ressources.

L'actualisation est le principal outil analytique dont se servent les économistes pour comparer des effets économiques se produisant à des périodes différentes. Le choix du taux d'actualisation a une grande importance technique pour l'analyse de la politique en matière de changement climatique, car l'horizon temporel est extrêmement long et le coût de l'atténuation a tendance à être ressenti bien plus tôt que les bénéfices des dégâts évités. Plus ce taux est élevé, plus les futurs bénéfices sont négligeables et plus les coûts actuels prennent d'importance dans l'analyse.

Le choix d'un taux d'actualisation public pose également la question des valeurs, car il est lié intrinsèquement au coût des mesures actuelles ainsi qu'aux dommages que risquent de subir les générations à venir si aucune mesure n'est adoptée<sup>5</sup>. La meilleure façon de choisir un taux d'actualisation est et restera sans doute une question insoluble. C'est l'une des raisons pour lesquelles ce taux est différent selon les pays. En général, les analystes font appel à plusieurs taux d'actualisation pour les études de sensibilité. Il faut également admettre qu'un taux d'actualisation public présuppose que tous les effets aboutissent à leur équivalent-consommation. C'est ce qui en rend difficile l'application aux incidences non-marchandes de l'évolution du climat qui, pour des raisons éthiques ou pratiques, ne peuvent être traduites en unités de consommation.

La littérature relative à l'application d'un taux d'actualisation public à l'analyse de l'évolution du climat se divise en deux grandes catégories. Une première approche consiste à actualiser la consommation de diverses générations au moyen d'un "taux de préférence collective pour le présent", qui représente la somme du taux de "préférence pure pour le présent" (impatience) et du taux d'accroissement du bien-être dû à l'augmentation future du revenu par habitant. D'après cette approche, selon les valeurs adoptées pour les divers paramètres, le taux d'actualisation a tendance à baisser jusqu'à un minimum se situant

entre 0,5 et 3,0 % par an en moyenne mondiale. Il existe cependant, à l'échelon régional, des variations sensibles de ce taux, qui concordent néanmoins avec une moyenne mondiale donnée.

La deuxième approche consiste à considérer le rendement des investissements, qui, à prix constant, se situe entre 3 et 6 % pour les investissements publics à long terme ne comportant aucun risque. Théoriquement, il serait possible d'investir dans des projets ayant un tel rendement et d'utiliser le produit de ces investissements pour accroître la consommation dans l'intérêt des générations à venir.

Le choix d'un taux d'actualisation public pour des projets d'investissement public relève d'un jugement politique, mais il a des incidences considérables sur l'évaluation économique des mesures à prendre face à l'évolution du climat<sup>6</sup>. Dans cent ans, par exemple, en tenant compte de l'inflation, 1 000 \$ de dommages seront évalués à 370 \$ si l'on prend un taux d'actualisation de 1 % (situé vers le bas de la fourchette dans le cas de la première approche), mais à 7,60 \$ si l'on prend un taux d'actualisation de 5 % (situé vers le haut de la fourchette dans le cas de la deuxième approche). En revanche, dans les analyses de la rentabilité à court terme des politiques, l'incidence des divers taux d'actualisation est nettement plus faible. Dans tous les domaines, les analystes devraient préciser le(s) taux qu'ils utilisent afin de faciliter la comparaison et le regroupement des résultats.

## 6. Applicabilité de l'évaluation des coûts et des bénéfices

De nombreux facteurs sont à prendre en compte lors de l'évaluation des projets et des politiques climatiques officielles, et notamment l'analyse de leur coût et de leurs bénéfices éventuels. Bien que ces coûts et bénéfices ne puissent pas tous être exprimés en termes financiers, il existe diverses techniques offrant un cadre utile pour organiser l'information sur les conséquences des diverses mesures destinées à faire face à l'évolution du climat.

Les techniques analytiques servant à l'examen des politiques et des décisions économiques relatives à

l'environnement comprennent l'analyse traditionnelle coûts-bénéfices appliquée aux projets, l'analyse coût-efficacité, l'analyse à critères multiples et l'analyse des décisions. Dans l'analyse traditionnelle coûts-bénéfices, on s'efforce de comparer l'ensemble des coûts et des bénéfices exprimés dans les mêmes termes financiers. Dans l'analyse coût-efficacité, on cherche à minimiser le coût d'une mesure prise pour atteindre un objectif défini au moyen d'autres critères. L'analyse à critères multiples est conçue pour les cas où certains bénéfices et/ou certains coûts se mesurent en termes non financiers. L'analyse des décisions vise spécifiquement la prise de décisions en cas d'incertitude.

En principe cet ensemble de techniques peut contribuer à améliorer les décisions concernant l'ampleur souhaitable des mesures d'atténuation du changement climatique, le calendrier d'application de ces mesures et les méthodes à suivre.

L'analyse traditionnelle coûts-bénéfices repose sur le principe selon lequel à tout moment, le degré de réduction des émissions est déterminé de façon que les coûts marginaux soient égaux aux bénéfices marginaux. Cependant, les coûts et les bénéfices peuvent être difficiles et parfois impossibles à évaluer, en raison de l'ampleur des incertitudes, de la possibilité de catastrophes ayant de très faibles probabilités d'occurrence ou simplement du fait qu'il n'existe pas de méthode homogène pour en exprimer les effets en termes monétaires. Dans certains de ces cas, il est possible de faire appel à l'analyse à critères multiples. Celle-ci offre aux décideurs un ensemble plus vaste d'informations et leur permet notamment d'évaluer les coûts et les bénéfices considérés dans un cadre commun.

L'application pratique de l'analyse traditionnelle coûts-bénéfices au problème de l'évolution du climat est donc difficile en raison de l'aspect mondial, régional et intergénérationnel de la question. L'évaluation du coût des diverses mesures d'atténuation est extrêmement variable, ainsi que l'évaluation des dommages physiques éventuels résultant des changements climatiques. En outre, on accorde une confiance limitée à l'évaluation chiffrée des conséquences importantes de ces changements (et notamment de leurs conséquences non marchandes). Ces incertitudes et



leur résolution au cours du temps peuvent être décisives pour le choix de stratégies de lutte contre les changements climatiques. L'analyse des décisions a pour objet la résolution de tels problèmes. Par ailleurs, il n'existe pas de principes économiques largement admis pour l'évaluation de certaines catégories de répercussions sur l'environnement, la culture et la santé. Dans la mesure où certaines répercussions et certaines mesures ne peuvent pas être évaluées en termes monétaires, les économistes complètent l'analyse traditionnelle coûts-bénéfices par des techniques telles que l'analyse à critères multiples, ce qui permet d'exprimer quantitativement les compromis envisageables. Ces techniques ne permettent pas de résoudre les questions d'équité, consistant par exemple à déterminer la répartition des coûts. Elles donnent cependant d'importantes informations sur les conséquences des dommages, sur les coûts de l'atténuation et de l'adaptation et sur les domaines dans lesquels des mesures rentables peuvent être adoptées.

Malgré leurs nombreuses imperfections, ces techniques offrent un cadre utile pour identifier les principales questions auxquelles doivent faire face les décideurs en matière d'évolution du climat:

- De combien les émissions de gaz à effet de serre devraient-elles être réduites?
- A quel moment ces émissions devraient-elles être réduites ?
- De quelle façon devraient-elles être réduites ?

Ces techniques analytiques permettent aux décideurs d'établir une comparaison quantitative des conséquences de diverses mesures ou de l'absence de mesures, ce qui peut assurément contribuer à la résolution de ces questions.

## **7. Coût social du changement climatique résultant des activités humaines: dommages imputables à l'augmentation des gaz à effet de serre**

La littérature concernant le sujet abordé ici est controversée. Elle se fonde essentiellement sur des recherches effectuées dans des pays développés, dont les résultats sont souvent extrapolés pour les pays en voie de développement. Il n'existe aucun consensus

quant à la façon d'évaluer la valeur d'une vie statistique ou de regrouper les vies statistiques pour plusieurs pays<sup>7</sup>. Une valorisation monétaire ne doit pas occulter les conséquences humaines des bouleversements climatiques d'origine anthropique, car la vie possède une valeur qui dépasse la simple évaluation monétaire. Il est à noter que la Déclaration de Rio et le programme Action 21 stipulent que le développement durable doit rester axé sur l'homme. L'approche adoptée pour une telle évaluation pourrait se répercuter sur l'ampleur des stratégies de réduction des dommages. On notera aussi que dans la presque totalité de la littérature consultée au titre de la présente section, *i)* l'évaluation de la valeur de la vie statistique est différente pour les pays en voie de développement et pour les pays développés; *ii)* l'évaluation des dommages est également différente pour les deux types de pays. Comme les circonstances nationales, y compris les coûts d'option, ne sont pas les mêmes selon les pays, les économistes évaluent parfois certaines catégories d'impacts de façon distincte pour chaque pays.

Les bénéfices de la limitation des émissions de gaz à effet de serre et l'augmentation des puits comprennent: (a) les dommages évités; et (b) les avantages secondaires découlant des politiques applicables. Les avantages secondaires comprennent la réduction des polluants produits parallèlement aux gaz à effet de serre et la conservation de la diversité biologique. Les dommages nets dus au changement climatique comprennent les incidences marchandes et non-marchandes, dans la mesure où elles peuvent être quantifiées aujourd'hui, et, dans certains cas, les coûts d'adaptation. On indique la valeur nette des dommages pour tenir compte de certains effets bénéfiques du réchauffement planétaire, bien que ceux-ci soient nettement inférieurs au coût des dommages. Les incidences non-marchandes telles que la dégradation de la santé humaine, le risque de mortalité et la détérioration des écosystèmes représentent une part importante des estimations disponibles en matière de coût social de l'évolution du climat. Les ouvrages sur l'évaluation financière de ces incidences reflètent des opinions et des approches divergentes. Les estimations des dommages non-marchandes sont très incomplètes et possèdent un caractère hautement spéculatif. Elles constituent donc une source d'incertitudes considérables pour l'évaluation des répercussions de

l'évolution mondiale du climat sur le bien-être de humain. Certains considèrent l'évaluation monétaire de ces répercussions comme essentielle pour prendre des décisions avisées. D'autres, pour des raisons éthiques, rejettent la valorisation monétaire de certaines de ces répercussions, telles que le risque de mortalité humaine. Il existe en outre un risque de disparition de civilisations entières. Ce risque, qui ne peut être considéré en termes financiers, implique une perte de diversité humaine, dont nous ne possédons aucun indicateur capable de mesurer la valeur économique.

La littérature consultée contient très peu d'évaluations des dommages, exprimés en termes financiers, qu'entraînerait un doublement de la concentration équivalente de CO<sub>2</sub>. Ces évaluations, regroupées à l'échelle mondiale, illustrent les incidences possibles de l'évolution du climat selon certains scénarios choisis. Le regroupement des divers dommages chiffrés en vue d'obtenir l'impact total sur le bien-être collectif implique des décisions délicates en matière d'équité entre nations. Les évaluations à l'échelle planétaire reposent sur la totalisation des dommages chiffrés pour chaque pays (correspondant eux-mêmes à une aggrégation implicite d'éléments individuels), qui reflètent les différences de patrimoine et de revenu existant entre les pays, ce qui influe fondamentalement sur la valorisation monétaire de ces dommages. Si l'on tient compte des différences de revenu entre les pays, une incidence comparable (telle que l'accroissement du taux de mortalité) aura un poids très différent selon les pays dans le calcul des dommages à l'échelle planétaire.

Pour que les choix entre diverses façons de promouvoir le bien-être humain puissent se faire sur une base cohérents, les économistes cherchent depuis de nombreuses années, au moyen de différentes techniques, à exprimer en termes financiers une large gamme d'incidences sur l'homme et l'environnement. Parmi ces techniques, la plus couramment utilisée repose sur le consentement observé à payer le prix de divers avantages non marchands<sup>8</sup>. Cette approche est celle qui a été adoptée dans la plus grande partie de la littérature consultée.

La vie humaine est un élément extérieur au marché que les sociétés voudront protéger partout de manière

égale. Si l'on utilise une approche impliquant une valorisation uniforme des incidences sur la vie humaine où qu'elles se produisent, les évaluations globales, à l'échelle planétaire, seront sans doute différentes de celles indiquées ci-après. Si, par exemple, on donnait partout la même valeur à la vie statistique en moyenne mondiale, la valeur totale des dommages au niveau mondial demeurerait inchangée, mais la part de ces dommages supportée par les pays en voie de développement serait nettement plus élevée. Si l'on lui donnait partout la même valeur que celle qu'on lui attribue généralement dans les pays développés, le coût des dommages exprimés en termes monétaires serait multiplié plusieurs fois et la proportion du dommage total estimatif supportée par les pays en voie de développement s'accroîtrait encore.

On peut faire appel à d'autres techniques d'aggrégation pour tenir compte des différences de patrimoine ou de revenu entre les pays dans le calcul chiffré des dommages. Comme les estimations chiffrées des dommages ont tendance à représenter un pourcentage du PIB plus élevé pour les pays à faible revenu que pour les pays à revenu élevé, on s'attend à ce que les techniques d'aggrégation prévoyant un ajustement en fonction des effets sur le patrimoine ou sur le revenu aboutissent à des évaluations des dommages sur le plan mondial supérieures à celles présentées dans le présent rapport.

Pour un réchauffement de 2 à 3°C, la littérature consultée aboutit à des estimations ponctuelles très diverses des dommages totaux compte tenu de l'augmentation prévue de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les estimations globales des dommages, qui correspondent généralement à quelques points de pourcentage du PIB mondial, représentent en général une proportion nettement plus élevée du PIB dans les pays en voie de développement. De telles estimations comportent une incertitude considérable, mais la littérature consultée n'a pas permis de déterminer l'ampleur de cette incertitude. Il est impossible de considérer la fourchette des estimations comme un intervalle de précision, étant donné les hypothèses et les méthodologies très diverses adoptées pour les différentes études. Comme nous l'avons noté ci-dessus, l'aggrégation est susceptible de masquer des incertitudes

encore plus grandes à propos des divers éléments des dommages considérés.

Dans les évaluations régionales ou sectorielles des conséquences de l'évolution du climat, la fourchette des estimations des effets économiques nets est beaucoup plus large. Dans certaines régions, les dommages, qu'on estime devoir être nettement plus élevés, risquent de nuire au développement économique. Dans d'autres, l'évolution du climat est susceptible d'augmenter la production économique et d'offrir des possibilités de développement économique. Pour les pays disposant en général d'une économie industrielle et diversifiée ainsi que d'une population active instruite et adaptable, les quelques prévisions publiées quant aux dommages sont de l'ordre de quelques points de pourcentage du PIB. Pour les pays ayant en général une économie spécialisée et axée sur les ressources naturelles (sur l'agriculture ou l'exploitation forestière, par exemple) ainsi qu'une population active peu instruite et attachée à la terre, les rares estimations publiées sont nettement plus élevées. Les petites îles et les zones côtières de faible altitude sont particulièrement vulnérables. Ces estimations ne tiennent pas compte des dommages pouvant découler d'éventuelles catastrophes à grande échelle telles que le bouleversement de la circulation océanique. Les diverses études ne s'accordent pas sur l'ampleur exacte des dommages de chaque catégorie et quant à l'ordre d'importance de ces catégories<sup>9</sup>. Des changements climatiques d'une telle ampleur n'étant pas attendus avant plusieurs dizaines d'années, les dommages d'ici là pourraient être moins importants. En revanche, ils risquent d'être plus importants à plus longue échéance<sup>10</sup>.

Le GIEC n'endosse aucune des fourchettes de valeurs publiées en ce qui concerne les dommages marginaux imputables aux émissions de CO<sub>2</sub>. Selon les chiffres publiés, les dommages estimatifs se situeraient entre 5 et 125 \$ (dollars américains de 1990) par tonne de carbone actuellement émise. Cette fourchette ne correspond pas à l'intégralité de l'intervalle de confiance. Fondées sur des modèles au demeurant simplistes, les estimations donnent une représentation limitée des processus climatiques réels et se basent sur les rapports scientifiques antérieurs du GIEC. La large gamme des dommages estimatifs reflète les différences des scénarios, des taux d'actualisation et

d'autres hypothèses. Il faut souligner que les estimations concernant le coût social de l'évolution du climat sont caractérisées par un degré d'incertitude important en raison de notre connaissance limitée des incidences de cette évolution, à des incertitudes quant à l'avenir des développements technologiques et socio-économiques et à l'éventualité d'événements catastrophiques ou inattendus.

## 8. Évaluation générale des stratégies d'intervention

Il existe de nombreuses possibilités d'adaptation aux incidences de l'évolution du climat. A chacune des techniques, des pratiques et des mesures considérées correspondent un prix et des bénéfices économiques et écologiques. La présente section passe en revue l'ensemble des mesures actuellement envisageables ou abordées dans la littérature. Etant donné l'évolution des conditions locales et des coûts, l'assortiment optimal des diverses possibilités d'intervention dépend du pays et du moment considérés.

L'examen des mesures d'atténuation des émissions de CO<sub>2</sub> indique que:

- De nombreux secteurs offrent de vastes possibilités d'accroître de façon rentable **les économies d'énergie** ainsi que **l'efficacité de l'approvisionnement énergétique et de la consommation d'énergie**. Ces mesures ont des avantages économiques et écologiques en plus de permettre la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Nombre d'entre elles peuvent être mises en oeuvre rapidement grâce à la taille réduite des unités, à une conception modulaire et au faible coût global du cycle de vie.
- Les mesures visant à **réduire les émissions de CO<sub>2</sub> imputables à la consommation d'énergie** font appel à des alternatives techniques et aux améliorations de rendement, notamment dans les secteurs du bâtiment, de l'habitat, du commerce, de l'agriculture et de l'industrie. Les stratégies de bon rapport coût-efficacité ne sont pas toutes fondées sur de nouvelles technologies: certaines se basent sur une meilleure diffusion de l'information, la sensibilisation du public, des stratégies de gestion, des politiques des prix et des réformes institutionnelles.

- L'évaluation du potentiel technique du **passage à des combustibles à moindre teneur en carbone** varie selon les régions, les types de mesures et la disponibilité rentable de réserves de combustibles fossiles et de carburants de remplacement. Ces études doivent tenir compte du risque de rejet de méthane dû aux fuites de gaz naturel en cours de production et de distribution.

- Les **technologies faisant appel à des sources d'énergie renouvelables** (énergie solaire, énergie hydro-électrique, énergie éolienne, biomasse traditionnelle et moderne, énergie thermique des mers, par exemple) en sont à divers stades de développement technique et de maturité économique et commerciale. Le potentiel de ces sources d'énergie n'est pas entièrement exploité. Le coût estimatif des technologies de ce type dépend de caractéristiques propres aux sites, de la variabilité des ressources et de la forme sous laquelle l'énergie finale est distribuée. Ce coût estimatif est extrêmement variable.

- **L'énergie nucléaire**<sup>11</sup> est une technologie qui est exploitée depuis plusieurs dizaines d'années dans de nombreux pays. Cependant, de nombreux facteurs ont ralenti le développement de l'énergie nucléaire, parmi lesquels:

- a) la méfiance du public découlant des accidents nucléaires,
- b) des problèmes imparfaitement résolus concernant la sécurité des réacteurs, la prolifération de matières fissiles, le déclassement des installations nucléaires et le stockage à long terme des déchets nucléaires, ainsi, dans certains cas, qu'une demande d'électricité inférieure aux prévisions.

Des difficultés réglementaires et de choix des sites ont augmenté les délais de construction des centrales, entraînant un accroissement des frais d'investissement dans certains pays. Si ces problèmes, et notamment leurs aspects sociaux, politiques et écologiques mentionnés ci-dessus, peuvent être résolus, la part de l'énergie nucléaire dans la production mondiale d'énergie est susceptible de s'accroître.

- A terme, **la séquestration et l'élimination du CO<sub>2</sub>** risquent d'être limités pour des raisons techniques et écologiques, car les techniques d'élimination ne garantissent pas toutes que le carbone ne sera pas réintroduit dans l'atmosphère.

- Dans certains cas, **les mesures dans le secteur de la foresterie** offrent de vastes possibilités pour un prix modique et un faible risque, ainsi que d'autres avantages. En outre, le potentiel de l'utilisation par des techniques modernes de la biomasse en tant que combustible et que source d'électricité pourrait devenir intéressante. L'arrêt ou le ralentissement du déboisement et l'accélération du reboisement grâce à des programmes d'accroissement de la productivité sylvicole et de gestion écologiquement viable permettant d'augmenter la productivité agricole, le développement des réserves forestières et la promotion de l'écotourisme s'inscrivent parmi les solutions rentables pour ralentir l'accumulation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Les programmes d'exploitation forestière posent d'importants problèmes en matière d'équité[12].

Il existe également un grand nombre de techniques et de pratiques permettant de réduire les émissions de **méthane** provenant de sources telles que les réseaux de distribution de gaz naturel, les mines de charbon, les décharges et les exploitations agricoles. Cependant, la question de la réduction des émissions liées à la production alimentaire pourrait impliquer des compromis touchant au rythme de production alimentaire. Ces compromis doivent être soigneusement évalués, car ils pourraient nuire à la satisfaction des besoins fondamentaux dans certains pays, notamment de développement.

La plupart des émissions de **protoxyde d'azote** proviennent de sources diffuses liées à l'agriculture et à la foresterie. Ces émissions sont difficiles à réduire rapidement. Les émissions industrielles de **protoxyde d'azote** et de **composés halogénés** ont tendance à se concentrer dans quelques secteurs clés et sont plus faciles à maîtriser. Les mesures visant à limiter ces émissions pourraient être attrayantes pour de nombreux pays.

La lenteur avec laquelle une bonne partie des mesures rentables et techniquement intéressantes citées ci-dessus sont mises en oeuvre s'explique de diverses façons, et notamment par les coûts réels et perçus. Entre autres facteurs, les capitaux disponibles, le manque d'information, les obstacles institutionnels et les imperfections du marché influent sur la vitesse de diffusion de ces techniques. Il est nécessaire d'identifier les raisons propres à chaque pays pour

pouvoir définir des politiques avisées et efficaces d'incitation à une plus large adoption de ces techniques.

L'enseignement, la formation, l'information et les services consultatifs sont des éléments importants des diverses mesures envisageables.

Nombre des techniques et des pratiques de réduction des émissions décrites ci-dessus offrent également d'autres avantages à la société: ceux-ci comprennent l'amélioration de la qualité de l'air, une protection accrue des eaux superficielles et souterraines, un accroissement de productivité de l'élevage, la réduction des risques d'explosion et d'incendie et une meilleure utilisation des ressources énergétiques.

Il existe aussi de nombreuses solutions d'**adaptation** aux incidences de l'évolution du climat qui permettent ainsi de réduire les dommages subis par les économies nationales et les écosystèmes naturels. Des solutions de ce type existent dans de nombreux secteurs: agriculture, énergie, santé, gestion des zones côtières, pêche hauturière et loisirs. Certaines de ces solutions permettent de mieux faire face aux conséquences actuelles de la variabilité du climat. Dans le cadre des recherches qui seront effectuées à l'avenir, il sera important d'étudier compromis possibles entre l'application de mesures d'atténuation et des mesures d'adaptation. Les mesures sectorielles d'adaptation sont récapitulées dans le Deuxième Rapport d'évaluation du Groupe de travail II du GIEC.

Les stratégies optimales d'intervention à l'échelon national dépendront des conditions et des circonstances propres à chaque pays. Cependant, de nombreuses études et observations empiriques récentes semblent indiquer que la meilleure façon de mettre en oeuvre certaines des mesures les plus rentables passe par un effort commun ou par une collaboration entre les nations.

## **9. Coût des diverses possibilités d'intervention**

Il est à noter que la présente section constitue une évaluation de la littérature technique et qu'on n'y trouvera aucune recommandation en matière de poli-

tique à appliquer. La littérature disponible provient essentiellement de pays développés.

## **Considérations en matière de coût**

Dans cette section, qui porte sur l'évaluation du coût des mesures d'atténuation et d'adaptation, nous nous intéresserons au coût net (coût total moins les bénéfices et coûts secondaires). Le coût net s'entend à l'exclusion du coût social de l'évolution du climat, qui est abordé à la section 7. La littérature consultée donne des estimations très diverses en ce qui concerne le coût des diverses possibilités d'intervention. Cette diversité est largement due à des différences significatives entre les hypothèses concernant l'efficacité du marché de l'énergie et d'autres marchés, et la capacité des organismes d'Etat à agir face aux défaillances et aux imperfections perçues de ces marchés.

Les mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre pourront avoir d'autres répercussions économiques (telles que des effets externes technologiques liés à la stimulation des programmes de recherche-développement) et/ou écologiques (telles que la réduction des émissions de précurseurs des pluies acides et des smogs urbains). Certaines études indiquent que les avantages secondaires pour l'environnement pourraient être substantiels mais différents selon les pays.

## **Résultats spécifiques**

Le coût estimatif de la réduction des émissions de gaz à effet de serre dépend beaucoup des hypothèses concernant l'amélioration du rendement énergétique dans le scénario de base (c'est-à-dire en l'absence de toute politique climatique) ainsi que d'un grand nombre de facteurs tels que les modes de consommation, la disponibilité des ressources et des technologies, le niveau souhaité et l'échelonnement dans le temps des réductions et le choix des instruments d'intervention. Les décideurs ne devraient pas accorder une confiance excessive aux chiffres ressortant d'analyses particulières. Les analyses du coût des mesures d'atténuation définissent par exemple ce coût par rapport à un niveau de référence

donné, mais ni le niveau de référence ni les scénarios d'intervention ne doivent être considérés comme étant nécessairement représentatifs d'éventuelles conditions à l'avenir. Ils devraient plutôt s'attacher à comprendre en général les facteurs fondamentaux qui déterminent les coûts.

Le coût de la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau et dans un délai "qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique" (objectif ultime de la CCNUCC) dépendra de la trajectoire choisie pour les émissions. Le coût du programme de réduction des émissions sera influencé par le rythme de remplacement des installations, du taux d'actualisation et de l'effet des activités de recherche-développement.

Si une politique d'incitation à des investissements permettant de remplacer efficacement les installations et l'équipement à la fin de leur durée de vie utile (c'est-à-dire au moment de la rotation du stock de capital) n'est pas adoptée aussi rapidement que possible, la société devra payer le prix économique de cette inaction. La réduction des émissions à un rythme pouvant être absorbé au cours de la rotation normale du stock de capital est susceptible d'être plus économique qu'un remplacement prématuré dès maintenant.

Le choix des trajectoires d'émissions suppose donc la mise en balance des risques économiques d'une réduction rapide dès maintenant (un remplacement prématuré des installations risquant de s'avérer inutile ultérieurement) et des risques équivalents d'une temporisation (une réduction plus rapide devenant alors nécessaire et exigeant ultérieurement le remplacement prématuré de futures installations).

Des signaux appropriés à long terme sont nécessaires pour que les producteurs et les consommateurs s'adaptent efficacement aux contraintes de l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre et pour que les activités de recherche-développement soient stimulées. Les bénéfices d'une politique "sans regrets" contrebalanceront, du moins en partie, le coût d'un train complet de mesures d'atténuation. Une telle politique donnera également davantage de temps pour en apprendre plus sur les risques liés à l'évolution du

climat et pour introduire de nouvelles technologies sur le marché.

Malgré de vastes différences d'opinions, les auteurs consultés conviennent qu'il est possible d'obtenir des gains d'efficacité de l'ordre de 10 à 30 % par rapport à la tendance de base au cours des 20 à 30 prochaines années pour un coût net négatif ou nul (un coût net négatif correspondant à un bénéfice économique). Sur un plus long terme, qui permet une rotation plus complète du stock de capital et qui donne aux politiques de recherche-développement et de transformation du marché une chance de se répercuter sur plusieurs cycles de remplacement, le potentiel d'une politique "sans regrets" est nettement plus élevé. L'ampleur de ce potentiel dépend de l'existence d'obstacles institutionnels et d'imperfections du marché importants qui empêchent la mise en oeuvre de mesures rentables de réduction des émissions. Ainsi, la question clef est de savoir dans quelle mesure de tels obstacles ou imperfections peuvent être éliminés efficacement par des initiatives telles que: normes d'efficacité, incitations, suppression de subventions, programmes d'information et financement de transferts de technologies.

De nombreux pays ont accompli des progrès en matière de diminution des obstacles institutionnels et les imperfections du marché grâce à des moyens d'intervention reposant sur des accords volontaires, à des mesures d'incitation à l'efficacité énergétique, à des normes d'efficacité des produits, à des programmes d'acquisition visant à améliorer l'efficacité énergétique dans le secteur de la fabrication et à des réformes réglementaires des services. Nombre des évaluations empiriques réalisées ont abouti à la conclusion que le ratio coûts-bénéfices de l'accroissement du rendement énergétique est favorable, ce qui semble indiquer que les politiques « sans regrets » peuvent être réalisées en pratique pour un coût net négatif. De plus amples renseignements sont nécessaires à propos de programmes semblables et plus perfectionnés pour un plus grand nombre de pays.

Les choix en matière d'infrastructure sont essentiels pour déterminer le coût à long terme des émissions et de leur réduction, car ils peuvent élargir ou restreindre le nombre et les types de possibilités pour l'avenir.

Ces choix, qui déterminent les schémas de développement en matière de transports, d'habitat urbain et d'aménagement du territoire, et influencent sur l'essor des filières énergétiques et sur les pratiques de déboisement. La question revêt une importance particulière pour les pays en voie de développement et de nombreuses économies en transition, où vont être prises, dans un proche avenir, d'importantes décisions en matière d'infrastructure.

Si l'on fait appel à une taxe sur le carbone ou à une taxe mixte carbone-énergie comme instrument d'une politique de réduction des émissions, cette taxe pourra produire des recettes substantielles dont la répartition sera susceptible d'influer profondément sur le coût des mesures d'atténuation. Si l'on répartit les recettes en réduisant les taxes génératrices de distorsions dans le système actuel, on contribuera à abaisser les charges excessives imposées par les régimes fiscaux en vigueur, ce qui, en outre, pourrait offrir un avantage économique (double dividende). Les études les plus optimistes réalisées en Europe à propos des possibilités de recyclage fiscal indiquent par exemple que les coûts seraient plus faibles et même légèrement négatifs dans certains cas. A l'inverse, un recyclage inefficace des recettes fiscales pourrait aboutir à une augmentation des coûts. Si, par exemple, on utilise les recettes fiscales pour financer des programmes d'Etat ayant un rendement moindre

que les investissements dans le secteur privé abandonnés en raison de la taxe, les coûts vont augmenter globalement.

Le coût de la réduction des émissions de gaz à effet de serre varie sensiblement selon les pays en fonction de leur niveau de développement économique, de leurs choix en matière d'infrastructure et de leurs ressources naturelles. Une collaboration internationale pourrait aboutir à une baisse significative du coût global des mesures de réduction d'émissions. En effet, la recherche indique qu'en principe, des économies substantielles pourraient être réalisées si les émissions étaient réduites aux endroits où l'opération est la moins chère. Dans la pratique, cela exigerait la mise en place de mécanismes internationaux présidant à un flux approprié des capitaux et à des transferts de technologies entre pays. A l'inverse, l'absence d'une collaboration internationale risquerait de compromettre l'action unilatérale de pays ou de groupes de pays en vue de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Cependant, les estimations quant à la délocalisation d'activités polluantes sont tellement variables qu'elles ont peu d'utilité pour les décideurs.

A ce jour, les analyses des possibilités et des coûts en matière de réduction des émissions sont plus nombreuses pour les pays développés que pour

### Encadré 1: Modèles descendants et ascendants

Les modèles descendants sont des modèles globaux prenant en compte l'ensemble de la macro-économie. Ces modèles, qui reposent sur l'analyse rétrospective des tendances et des relations, permettent de prévoir les interactions à grande échelle devant se produire entre les divers secteurs de l'économie, et notamment entre le secteur énergétique et le reste de l'économie. En général, par rapport aux modèles ascendants, ils tiennent compte de la consommation d'énergie et de l'évolution technologique de façon relativement peu détaillée.

Les modèles ascendants, quant à eux, intègrent des études détaillées des coûts de conception d'un grand nombre de technologies actuelles et prévues et tiennent compte de la consommation d'énergie de façon très détaillée. Par rapport aux modèles descendants, cependant, ils intègrent généralement relativement peu de détails quant au comportement des consommateurs en matière autre qu'énergétique et quant aux interactions avec d'autres secteurs de l'économie.

La caractérisation simple des modèles descendants et ascendants est de plus en plus trompeuse, car les versions récentes des modèles de chaque type présentent davantage de détails sur des points qui étaient moins développés par le passé. Cette convergence de structure fait que les résultats obtenus à partir des deux types de modèles ont tendance à converger, les distinctions restantes résultant d'hypothèses différentes quant à la rapidité et à l'efficacité avec laquelle les institutions liées au marché adoptent de nouvelles technologies rentables ou sont portées à les adopter par des mesures nouvelles.

Nombre des modèles existants sont mal adaptés à l'étude des économies en transition et des pays en voie de développement. De plus amples recherches sont nécessaires pour mettre au point des méthodes, des données et des modèles, ainsi que pour renforcer la capacité d'analyse des institutions locales.

d'autres parties du monde. En outre, de nombreux modèles existants ne sont pas adaptés à l'étude des économies en transition ou de l'économie des pays en voie de développement. Il reste beaucoup à faire mettre au point et appliquer du modèles utilisables dans les pays autres que développés (modèles qui, par exemple, tiendraient plus explicitement compte des imperfections du marché, des obstacles institutionnels, de l'économie traditionnelle et de l'économie parallèle). De plus, le texte ci-après et la plus grande partie du rapport dont il s'inspire portent sur le coût des diverses possibilités d'intervention à l'échelon national ou régional dans la mesure où il affecte le PIB. Il convient d'analyser de façon plus approfondie les incidences des diverses interventions envisageables sur l'emploi, l'inflation, la compétitivité en matière commerciale et d'autres questions d'intérêt public.

Un grand nombre d'études faisant appel à une démarche descendante ou ascendante (voir les définitions dans l'encadré 1) ont été examinées. Les évaluations concernant le coût de la limitation du dioxyde de carbone rejeté par les combustibles fossiles (exprimé en unités de carbone) sont très variables et dépendent du choix des méthodes, des hypothèses de base, des scénarios concernant les émissions, des instruments d'intervention, de l'année de déclaration, etc. On trouvera les résultats précis de ces études au chapitre 9.

**Pays de l'OCDE.** Bien qu'il soit difficile de généraliser, les analyses descendantes indiquent que le coût de réductions substantielles permettant de ramener le niveau des émissions au-dessous de celui de 1990 pourrait atteindre plusieurs points de pourcentage du PIB. Dans le cas précis d'une stabilisation des émissions au niveau de 1990, la plupart des études estiment que le coût annuel se situe entre - 0,5 % du PIB (ce qui équivaut à un gain total d'environ 60 milliards de dollars pour les pays de l'OCDE, au niveau actuel du PIB) et + 2% du PIB (ce qui équivaut à une perte d'environ 240 milliards de dollars) pour les prochaines décennies. Cependant, des études indiquent également qu'un choix convenable du calendrier d'application des mesures d'abattement et la possibilité d'adopter des solutions de remplacement à bas prix pourraient réduire sensiblement la facture globale.

Les études ascendantes sont plus optimistes quant au potentiel de réduction des émissions à coût faible ou négatif et quant à la capacité de réaliser ce potentiel. De telles études indiquent que le coût d'une réduction de 20 % des émissions dans les pays développés d'ici 20 ou 30 ans est négligeable ou même négatif. Selon d'autres études ascendantes, il existe des possibilités de réduction absolue dépassant les 50 % à long terme, sans augmenter et peut-être même en réduisant le coût total pour la filière énergétique.

Les différences observées entre les résultats des analyses descendantes et ascendantes s'expliquent par des facteurs tels qu'une évaluation plus élevée du potentiel des politiques "sans regrets" et du progrès des technologies, ainsi que par une saturation plus précoce des services énergétiques dans chaque PIB. Les évaluations les plus favorables indiquent une possibilité d'économie de 10 à 20 % sur le coût total des services énergétiques.

**Economies en transition.** Les possibilités de réduction rentable de la consommation d'énergie pourraient être considérables, mais leur concrétisation va dépendre de la voie de développement économique et technologique choisie ainsi que des capitaux disponibles pour suivre diverses voies. La future évolution des structures dans les pays susceptibles de modifier radicalement le niveau des émissions de base et le coût de la réduction de ces émissions constitue une question déterminante.

**Pays en voie de développement.** Les analyses indiquent que les pays en voie de développement auraient des possibilités considérables de réduire à bas prix les émissions de dioxyde de carbone dues aux combustibles fossiles. Les voies de développement qui augmentent l'efficacité énergétique, encouragent les technologies énergétiques alternatives, réduisent le déboisement et favorisent la productivité agricole et la production de biomasse énergétique peuvent être bénéfiques sur le plan économique. Le choix d'une telle voie pourrait exiger une importante collaboration internationale ainsi que des transferts financiers et technologiques. Ce choix risque cependant de ne pas être suffisant pour contrebalancer la tendance à une augmentation rapide des émissions, qui est associée à l'accélération de la croissance économique et à l'accroissement global de la prospérité. La stabilisa-



tion des émissions de dioxyde de carbone risque d'être coûteuse.

Il est à noter que dans l'analyse des coûts pour les économies en transition et les pays en voie de développement, on ne tient habituellement pas compte des répercussions des mesures prises unilatéralement par les pays développés. Ces répercussions peuvent être soit positives soit négatives. Leur ampleur est difficile à quantifier.

Il est à noter également que des coûts ou des bénéfices estimatifs de l'ordre de quelques points de pourcentage du PIB, bien qu'ils puissent n'entraîner qu'une faible différence dans le taux de croissance de celui-ci, sont néanmoins considérables en termes absolus.

La protection et le développement des puits de carbone constituent un élément appréciable et souvent rentable d'une stratégie d'atténuation des gaz à effet de serre. Selon certaines études, la fixation du carbone dans les forêts pour une période de 50 à 100 ans pourrait compenser jusqu'à 15 à 30 % des émissions mondiales liées à l'énergie en 1990. Le coût de la fixation du carbone, qui est compétitif par rapport aux techniques de maîtrise des émissions à la source, pourrait être différent selon les régions du monde.

La maîtrise des émissions d'autres gaz à effet de serre, dont spécialement le méthane et le protoxyde d'azote, présente des possibilités importantes et rentable dans certains pays. Il serait possible, pour un coût négatif ou faible, de réduire d'environ 10 % les émissions de méthane imputables aux activités humaines en faisant appel aux mesures actuellement disponibles pour limiter les sources de méthane telles que les réseaux de gaz naturel, la gestion de déchets et l'agriculture.

## 10. Modèles d'évaluation intégrée

Les modèles d'évaluation intégrée associent des connaissances provenant d'un grand nombre de disciplines pour donner des éclairages qu'il ne serait pas possible d'observer par la recherche disciplinaire traditionnelle. Ces modèles servent à l'exploration de diverses conditions d'existence possibles des socié-

tés humaines et des systèmes naturels, à analyser les grandes questions liées à l'élaboration des politiques et à contribuer à fixer des priorités en matière de recherche. L'intégration permet de coordonner les hypothèses émanant de diverses disciplines et d'analyser les rétroactions et les interactions qui n'existent pas dans les disciplines prises isolément. Cependant, les résultats de ces analyses ne sont pas meilleurs que ceux obtenus au moyen des sciences économiques, atmosphériques et biologiques sur lesquelles elles reposent. Les modèles d'évaluation intégrée sont limités tant par les connaissances qui leur servent de base que par l'expérience relativement restreinte de leur utilisation.

La plupart des modèles actuels d'évaluation intégrée ne reflètent pas la dynamique sociale et économique propre aux pays en voie de développement et aux économies en transition. Aucun de ces modèles, par exemple, ne tient compte de la plupart des imperfections du marché, des obstacles institutionnels ou de l'économie parallèle de ces pays. Cela peut conduire à des erreurs systématiques dans les évaluations à l'échelle planétaire si l'on donne aux mesures d'atténuation et à leurs incidences sur les pays en voie de développement et les économies en transition la même valeur que si leur fonctionnement économique était comparable à celui des pays développés.

Bien que d'apparition récente, les modèles d'évaluation intégrée des changements climatiques ont progressé rapidement. Ces modèles se divisent habituellement en deux types: les *modèles d'évaluation des politiques* et les *modèles d'optimisation des politiques*. Les modèles d'évaluation des politiques, qui abondent en paramètres physiques, ont été utilisés pour analyser le potentiel de déboisement résultant des interactions entre la démographie, la productivité agricole et la croissance économique, ainsi que les rapports existant entre l'évolution du climat et l'étendue des zones potentiellement sujettes au risque de paludisme. Dans les modèles d'optimisation des politiques, on fait appel à des variables clés (taux d'émission ou taxes sur le carbone, par exemple) pour formuler des objectifs de politique (minimisation des coûts ou optimisation de la prospérité, par exemple).

Les principales incertitudes inhérentes aux modèles actuels d'évaluation intégrée sont la sensibilité du

système climatique aux variations des concentrations de gaz à effet de serre, la caractérisation et la valorisation monétaire des incidences là où il n'existe pas de marché, l'évolution de la démographie nationale et régionale, le choix des taux d'actualisation et les hypothèses concernant le coût, la disponibilité et la diffusion des technologies.

### **11. Evaluation économique des instruments de lutte contre les gaz à effet de serre**

Les gouvernements peuvent faire appel à divers ensembles de critères pour évaluer les instruments nationaux et internationaux de politique en matière de gaz à effet de serre. Parmi ces critères figurent l'efficacité/rentabilité, la capacité à atteindre les objectifs déclarés en matière d'environnement, l'équité en matière de répartition (y compris entre générations), la souplesse d'adaptation à de nouvelles connaissances, l'intelligibilité pour le grand public et la cohérence par rapport aux priorités, aux politiques, aux institutions et aux traditions nationales. Le choix des instruments peut également traduire la volonté des gouvernements d'atteindre d'autres objectifs tels qu'un développement économique durable, la concrétisation des objectifs en matière de développement social et de fiscalité ou la maîtrise des niveaux de pollution indirectement liés aux émissions de gaz à effet de serre. Certains gouvernements se soucient également des répercussions de leurs politiques sur la compétitivité.

L'économie mondiale et plusieurs économies nationales souffrent de diverses distorsions dans la structure des prix qui entraînent une augmentation des gaz à effet de serre: certaines subventions accordées à l'agriculture ou pour les carburants et des distorsions dans le prix des transports, par exemple. Quelques études de la question indiquent que l'élimination des subventions sur les carburants permettrait de réduire les émissions de 4 à 18 % sur le plan mondial et d'accroître le revenu réel. Dans la plupart des cas, la réduction de ces distorsions pourrait conduire à une diminution des émissions et à un gain d'efficacité économique. Cependant, il arrive fréquemment que des subventions soient créées et que les distorsions dans la structure des prix soient maintenues en raison

de considérations sociales et pour des motifs de répartition, ce qui en rend difficile l'élimination.

Les instruments peuvent s'envisager à deux niveaux distincts: ceux qui pourraient être employés par un groupe de pays et ceux qui pourraient être utilisés individuellement par chaque pays, unilatéralement ou en application d'accords multilatéraux.

Un groupe de pays[13] peut choisir parmi des mesures et des moyens d'action tels que l'incitation aux accords volontaires et au développement de la recherche, les contingents d'émissions négociables, la mise en oeuvre conjointe d'activités (relevant spécifiquement de la phase pilote[14]), l'harmonisation des taxes nationales sur le carbone, une taxe internationale sur le carbone, des contingents non négociables et diverses normes internationales. Si un tel groupe devait ne pas inclure la totalité des pays grands émetteurs, les pays exclus pourraient d'avoir tendance à accroître leur consommation de combustibles fossiles. Cela pourrait réduire la compétitivité sur le plan international de certaines industries des pays participants ainsi que l'efficacité pour l'environnement des efforts engagés par ces pays.

La littérature économique indique qu'à l'échelon international comme à l'échelon national, les instruments économiques d'incitation - taxes et contingents ou permis négociables, par exemple - sont susceptibles d'être plus rentables que d'autres approches. L'uniformisation des normes parmi les groupes de pays participant à un accord international risque d'être difficile à obtenir. Il existe cependant, pour un certain groupe de pays, un accord sur l'application de certaines normes uniformes.

Sur le plan international, tous les instruments potentiellement efficaces axés sur le marché pourraient être examinés au cours de futures négociations. Un système fondé sur un contingent d'émissions négociable a pour inconvénient de créer des incertitudes quant au coût marginal des émissions, tandis qu'une taxe sur le carbone - et les instruments apparentés - a pour inconvénient de créer des incertitudes quant à son effet sur le niveau d'émission. L'importance attribuée à la réduction de ces deux types d'incertitudes serait un facteur essentiel d'une évaluation plus approfondie de tels instruments. Etant donné l'insuf-

finance des connaissances scientifiques nécessaires, il resterait de grandes incertitudes quant aux résultats obtenus en limitant les émissions à des niveaux déterminés. L'adoption d'un système reposant sur des contingents négociables ou de taxes internationales aurait des répercussions sur la répartition des richesses dans le monde. Ces répercussions feraient l'objet de négociations. Il est nécessaire de procéder à d'autres études sur la conception éventuelle de contingents négociables et de taxes harmonisées, ainsi que sur le cadre institutionnel dans lequel ces instruments pourraient être mis en place, afin d'en assurer l'applicabilité en pratique.

Les pays qui cherchent individuellement à mettre en oeuvre une politique d'atténuation peuvent faire appel à une vaste gamme de mesures et d'instruments: taxes sur le carbone, permis négociables, systèmes de consigne (et instruments apparentés) et subventions, normes techniques, normes liées aux prestations, interdictions de produits, investissements directs de l'Etat et accords volontaires. L'éducation du public à l'utilisation durable des ressources pourrait contribuer notablement à faire évoluer les modes de consommation et autres types de comportement humain. Le choix des mesures sur le plan national peut répondre à des objectifs autres que la rentabilité – d'ordre fiscal, par exemple. On pourrait utiliser les recettes provenant des taxes sur le carbone et des permis

négociables mis aux enchères pour remplacer les taxes existantes, génératrices de distorsions. Le choix des instruments peut aussi refléter d'autres objectifs en matière d'environnement: réduction des émissions de polluants atmosphériques, accroissement du couvert forestier ou autres considérations telles que les impacts précis sur des régions ou des communautés données.

### **Rédaction du Résumé à l'intention des décideurs concernant les aspects socio-économiques de l'évolution du climat**

Le Résumé à l'intention des décideurs concernant les aspects socio-économiques de l'évolution du climat (Groupe de travail III du GIEC) a été rédigé et approuvé par des représentants gouvernementaux lors de la troisième session du Groupe de travail III, qui s'est tenue à Genève du 24 au 28 juillet 1995 et s'est poursuivie à Montréal du 11 au 13 octobre 1995. Les représentants gouvernementaux ont travaillé à partir d'un avant-projet préparé par le Bureau du Groupe de travail III\*. Cet avant-projet résumait les principaux points des évaluations présentées par les auteurs principaux, qui figurent dans les onze chapitres du rapport intégral. Certains des auteurs principaux ont participé aux délibérations qui ont marqué la session. ■

#### **Notes:**

- 1 Selon la définition de la Convention-cadre, "on entend par "changements climatiques" des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables". La question de savoir si de tels changements sont potentiels ou s'ils sont d'ores et déjà identifiables est analysée dans le volume sur la science du changement climatique du Deuxième rapport d'évaluation (DRE) du GIEC.
- 2 Ces mesures sont celles dont les bénéfices, tels que les économies d'énergie et la réduction de la pollution sur le plan local ou régional, sont au moins égaux à leur coût pour la société, quels que soient les avantages apportés par l'atténuation des incidences de l'évolution du climat. On les appelle parfois mesures "utiles en tout état de cause".
- 3 Faute de connaître l'ampleur des incidences possibles des changements climatiques, on ignore la capacité du marché privé à assurer les pertes découlant de ces changements.
- 4 Selon un principe apparenté (mais plus précis), chaque génération est en droit d'hériter d'une planète et d'un ensemble de ressources culturelles d'une qualité au moins égale à celle qu'ont connue les générations précédentes.
- 5 Un taux d'actualisation public est un taux d'actualisation utilisable par un Etat pour évaluer une politique officielle.
- 6 Malgré la diversité des valeurs attribuées au taux d'actualisation, les politiques s'inspirant des deux approches peuvent aboutir à des résultats semblables.
- 7 La valeur d'une vie statistique se définit comme la valeur attribuée à une variation du risque de décès dans une population donnée.
- 8 La notion de consentement à payer donne une indication, selon les souhaits exprimés, des ressources mobilisables et de la sensibilisation de l'opinion à un moment donné. Les valeurs retenues peuvent évoluer avec le temps. D'autres notions

## Aspects socio-économiques

(telles que celle de consentement à accepter un dédommagement des dégâts) ont été proposées, mais elles sont encore d'un emploi peu courant dans la littérature. L'interprétation et l'application au problème du climat de la notion de consentement à payer et d'autres notions sont susceptibles d'évoluer.

- 9 Etant donné les délais s'écoulant entre l'obtention de résultats scientifiques, l'utilisation de ces résultats pour évaluer les impacts physiques et biologiques éventuels et leur prise en compte dans les analyses économiques de l'évolution du climat, les estimations concernant les dommages imputables à cette évolution sont fondées principalement sur les résultats scientifiques présentés dans les rapports de 1990 et de 1992 du GIEC.
  - 10 Voir le volume sur la science du changement climatique et le volume sur les analyses scientifico-techniques des conséquences du changement climatique, des adaptations à ce changement et son atténuation du Deuxième rapport d'évaluation (DRE) du GIEC.
  - 11 Pour de plus amples renseignements sur les aspects techniques de l'énergie nucléaire, voir le volume sur les analyses scientifico-techniques des conséquences du changement climatique, des adaptations à ce changement et son atténuation du Deuxième rapport d'évaluation (DRE) du GIEC.
  - 12 Ces problèmes sont traités dans la section 4 ci-dessus et dans le volume sur les dimensions économiques et sociales du changement climatique du deuxième rapport d'évaluation (DRE) du GIEC.
  - 13 Un groupe peut se composer de quelques, d'un grand nombre ou même de tous les pays.
  - 14 Voir la décision 5/CP.1 de la Conférence des Parties (COPI) à la CCNUCC.
- \* Bureau du Groupe de travail III: coprésidents: James P. Bruce et Hoesung Lee; vice-présidents: Lorents Lorentsen et Richard Odingo; directeur du Service d'appui technique: Erik F. Haites.

# Résumé officiel

## Synthèse du deuxième rapport d'évaluation du GIEC

*Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat*  
(Version provisoire du texte officiel)

### 1. L'article 2 de la Convention-cadre

1.1 A la suite d'une résolution du Conseil exécutif de l'Organisation météorologique mondiale (juillet 1992), le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a décidé d'inclure dans son programme de travail l'étude de divers aspects de l'article 2 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. En octobre 1994, à l'invitation du gouvernement brésilien, le GIEC a organisé un atelier à ce sujet à Fortaleza, au Brésil. Par la suite, le président du GIEC a réuni sous sa présidence une équipe d'auteurs principaux (dont on trouvera la liste dans l'Appendice) chargée de rédiger le Document de synthèse. L'équipe a rédigé une version préliminaire de ce document, qui a été soumise à l'appréciation des experts et des gouvernements. La version définitive a été approuvée mot à mot par le GIEC lors de sa onzième session (Rome, 11-15 décembre 1995), à laquelle ont assisté des représentants de 116 gouvernements, de 13 organisations intergouvernementales et de 25 organisations

non gouvernementales. On notera à titre indicatif que tous les Etats Membres de l'Organisation météorologique mondiale et de l'Organisation des Nations Unies font partie du GIEC et peuvent participer à ses réunions ainsi qu'à celles de ses groupes de travail. Le Document de synthèse, fondé sur le Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC, présente des informations sur les questions scientifiques et techniques liées à l'interprétation de l'article 2 de la CCNUCC. Le Document de synthèse ne constituant pas un simple résumé du Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC, il convient de consulter également les résumés à l'intention des décideurs rédigés par les trois groupes de travail du GIEC pour obtenir un aperçu complet de ce rapport.

1.2 Depuis quelques dizaines d'années, deux facteurs importants concernant les rapports entre l'homme et le climat de la Terre ont émergé. D'abord, les activités humaines – et notamment l'emploi de combustibles fossiles, la modification de l'occupation des sols et l'agriculture – entraînent une augmentation de la

concentration atmosphérique de gaz à effet de serre (qui ont tendance à réchauffer l'atmosphère) et, dans certaines régions, d'aérosols (particules microscopiques en suspension dans l'air ayant tendance à refroidir l'atmosphère). On prévoit que les variations de la concentration de gaz à effet de serre et d'aérosols, dans leur ensemble, vont conduire, à l'échelle régionale et globale, à une évolution de paramètres climatiques ou liés au climat tels que la température, les précipitations, l'humidité du sol et le niveau de la mer. Ensuite, la vulnérabilité<sup>1</sup> de certaines collectivités humaines face à des dangers tels que tempêtes, inondations et sécheresses s'est accrue en raison de l'augmentation de la densité de peuplement de certaines régions à risque comme les aires de drainage des cours d'eau et les plaines côtières. Des modifications potentiellement graves ont été identifiées, y compris, dans diverses régions, une multiplication des phénomènes extrêmes liés à des températures élevées, des inondations et des sécheresses, entraînant des incendies, une augmentation de parasites et certaines conséquences pour la composition, la structure et le fonctionnement des écosystèmes, notamment leur productivité primaire.

**1.3** Le GIEC a procédé à des évaluations scientifiques et techniques des changements climatiques et de leurs incidences. Son Premier Rapport d'évaluation, publié en 1990, a servi de base scientifique et technique à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dont la procédure de ratification a été ouverte lors du Sommet de la Terre à Rio en 1992.

**1.4** L'objectif ultime de la Convention-cadre sur les changements climatiques, stipulé dans l'article 2 de la CCNUCC, est de "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 que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable."

**1.5** L'article 2 confronte le décideur avec les problèmes de déterminer quelles concentrations de

gaz à effet de serre seraient à considérer comme source de "perturbation anthropique dangereuse du système climatique" et de planifier un avenir permettant un développement économique durable. Le présent Document de synthèse, fondé sur les rapports présentés en 1994 et 1995 par les groupes de travail du GIEC, a pour objet d'offrir des informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique susceptibles de contribuer à la résolution de ce problème.

**1.6** Ce document s'attache aux diverses questions abordées dans l'article 2. Il commence par résumer brièvement l'importance des changements climatiques – source de "perturbation du système climatique" – prévus en raison des activités humaines. Il indique ensuite ce que nous savons de la vulnérabilité des écosystèmes et des sociétés humaines face aux changements climatiques probables, en ce qui concerne en particulier l'agriculture et la production alimentaire, ainsi que d'autres facteurs tels que la quantité d'eau disponible, la santé et l'élévation du niveau de la mer, éléments importants d'un développement durable. Le GIEC a pour tâche d'établir un fondement scientifique solide permettant aux décideurs de mieux définir ce qui constitue une perturbation anthropique dangereuse du système climatique.

**1.7** Vu la tendance actuelle à l'augmentation des émissions de la plupart des gaz à effet de serre, la concentration atmosphérique de ces gaz va augmenter au cours du XXI<sup>e</sup> siècle et au-delà. Cette évolution va intensifier les perturbations du système climatique et accroître le risque d'incidences de changements climatiques susceptibles d'être considérées comme dangereuses. On a donc envisagé des évolutions possibles des futures émissions nettes pouvant aboutir à une stabilisation à divers niveaux et les contraintes générales que cela impliquerait. Cette analyse, qui constitue la partie suivante du présent document, est suivie d'un récapitulatif des techniques et des mesures permettant de réduire les émissions et d'accroître les puits de gaz à effet de serre.

**1.8** Le Document de synthèse aborde ensuite des questions liées à l'équité et à la garantie d'un développement économique durable. Il s'agit, par exemple, d'évaluer les dommages que pourrait entraîner l'évolution du climat et les incidences – coûts et

avantages, notamment – des mesures d'adaptation et d'atténuation considérées. Enfin, dans la section sur les perspectives d'avenir, on s'est fondé sur certains aperçus que permettent d'obtenir les études actuellement disponibles pour proposer des mesures initiales, même s'il est difficile, pour l'instant, de fixer un objectif en matière de concentrations atmosphériques, notamment dans le temps, en vue d'éviter "toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique".

**1.9** L'évolution du climat présente pour les décideurs un redoutable ensemble de difficultés : des incertitudes considérables inhérentes à la complexité du système, le risque de coûts ou de dommages irréversibles, une planification à très longue échéance, un décalage important entre les émissions et leurs impacts, de vastes différences régionales dans les causes et les effets, un problème irréductiblement global et de nombreux gaz à effet de serre et aérosols à prendre en compte. Le fait que la protection efficace du système climatique exige une collaboration à l'échelle mondiale complique encore la situation, étant donné les grandes différences existant en matière de revenus, de souplesse d'évolution et de perspectives d'avenir, ce qui pose des problèmes d'efficacité et d'équité nationale, internationale et entre générations. L'équité est un facteur important de légitimation des décisions et d'incitation à la coopération.

**1.10** Les décisions découlant de l'article 2 de la CCNUCC impliquent trois choix distincts mais liés : le niveau de stabilisation, l'évolution des émissions nettes et les techniques et mesures d'atténuation. Le présent document présente les informations scientifiques et techniques disponibles concernant ces trois choix. Il précise également les incertitudes restantes quant à ces informations. L'article 3 de la CCNUCC expose un ensemble de principes devant guider entre autres choses les mesures à prendre pour atteindre l'objectif ultime de la Convention, stipulé dans l'article 2. L'article 3.3<sup>2</sup> porte notamment sur les mesures à adopter en cas d'absence de certitude scientifique absolue, indiquant qu'il incombe aux Parties :

*"... de prendre des mesures de précaution pour prévoir, prévenir ou atténuer les causes des changements climatiques et en limiter les effets néfastes. Quand il y a risque de perturbations graves ou irréversibles,*

*l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour différer l'adoption de telles mesures, étant donné que les politiques et mesures qu'appellent les changements climatiques requièrent un bon rapport coût/efficacité, de manière à garantir des avantages globaux au coût le plus bas possible. Pour atteindre ce but, il convient que ces politiques et mesures tiennent compte de la diversité des contextes socio-économiques, soient globales, s'étendent à toutes les sources et à tous les puits et réservoirs de gaz à effet de serre pertinents, comprennent des mesures d'adaptation et s'appliquent à tous les secteurs économiques. Les initiatives visant à faire face aux changements climatiques pourront faire l'objet d'une action concertée des Parties intéressées."*

Le Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC présente également des informations à cet égard.

**1.11** Les grandes échelles de temps mises en jeu par le système climatique (par exemple le temps de résidence des gaz à effet de serre dans l'atmosphère) et le planning de remplacement des infrastructures, ainsi que le décalage, allant de plusieurs décennies à plusieurs siècles, entre la stabilisation des concentrations et la stabilisation des températures et du niveau moyen de la mer, indiquent l'importance de prendre des décisions au bon moment.

## **2. Les perturbations anthropiques du système climatique**

**2.1** Pour comprendre ce que représentent des concentrations de gaz à effet de serre à un niveau qui empêche toute perturbation dangereuse du système climatique, il faut d'abord analyser les concentrations actuelles de ces gaz dans l'atmosphère, leurs évolutions et leurs incidences (présentes et prévues) sur le système climatique.

**2.2** La concentration atmosphérique de gaz à effet de serre, parmi lesquels le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) a fortement augmenté depuis l'époque préindustrielle (c'est-à-dire depuis 1750 environ) : le CO<sub>2</sub> est passé de 280 à près de 360 ppmv<sup>3</sup>, le CH<sub>4</sub> de 700 à 1720 ppbv et le N<sub>2</sub>O de 275 à 310 ppbv environ. Cette évolution est largement attribuable aux activités humaines : emploi de

combustibles fossiles, modification de l'occupation des sols et agriculture pour l'essentiel. La concentration d'autres gaz à effet de serre anthropiques a également augmenté. Globalement, l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre entraîne le réchauffement de l'atmosphère et de la surface de la Terre. De nombreux gaz à effet de serre restent dans l'atmosphère et influent sur le climat pendant une longue période.

**2.3** Les aérosols troposphériques provenant de la combustion de combustibles fossiles et de la biomasse ainsi que d'autres sources ont entraîné un forçage négatif direct, ainsi, probablement, qu'un forçage négatif indirect d'une valeur comparable. Le forçage négatif est concentré dans certaines régions et certaines zones subcontinentales, mais il peut avoir des incidences à des échelles continentales à hémisphériques sur les caractéristiques du climat. A l'échelle locale, le forçage négatif imputable aux aérosols est parfois supérieur au forçage positif dû aux gaz à effet de serre. Contrairement aux gaz à effet de serre à longue durée de vie, les aérosols d'origine humaine ont une durée de vie très courte dans l'atmosphère. C'est pourquoi le forçage radiatif qui leur est imputable suit rapidement l'augmentation ou la diminution des émissions.

**2.4** En moyenne globale, la température à la surface a augmenté de 0,3 à 0,6°C environ depuis la fin du XIXe siècle. Cette évolution n'est vraisemblablement pas d'origine strictement naturelle. Les faits observés – les variations de la température moyenne mondiale de l'air à la surface et du profil spatial, saisonnier et vertical des températures dans l'atmosphère en particulier – concordent pour indiquer une influence perceptible de l'homme sur le climat. Il existe des incertitudes quant à certains facteurs clés, notamment l'ampleur et les caractéristiques de la variabilité naturelle à long terme du climat. En moyenne globale, le niveau de la mer s'est élevé de 10 à 25 cm au cours des cent dernières années. Ce phénomène est attribuable en grande partie à l'augmentation de la température moyenne dans le monde.

**2.5** Les données dont on dispose sont insuffisantes pour déterminer si des changements significatifs de la variabilité du climat ou des conditions météorologiques extrêmes se sont produits à l'échelle planétaire

au cours du XXe siècle. A l'échelle régionale, il existe des signes clairs d'évolution de certaines conditions extrêmes et de certains indicateurs de la variabilité du climat. Certains de ces changements semblent indiquer une augmentation de la variabilité du climat, d'autres une diminution. Cependant, il n'a pas été possible d'établir jusqu'à présent un rapport indubitable entre ces changements et les activités humaines.

## Conséquences éventuelles des perturbations futures

**2.6** En l'absence de politiques d'atténuation ou de progrès techniques sensibles permettant de réduire les émissions et/ou d'accroître les puits, on s'attend à une croissance de la concentration de gaz à effet de serre et d'aérosols tout au long du siècle prochain. Le GIEC a élaboré une série de scénarios, les scénarios IS92a à f, concernant la progression à venir des émissions de gaz à effet de serre et de polluants précurseurs d'aérosols. Ces scénarios reposent sur certaines hypothèses ayant trait à la croissance démographique et économique, à l'occupation des sols, aux progrès techniques, à l'approvisionnement énergétique et à divers combinaisons de sources d'énergie entre 1990 et 2100<sup>4</sup>. Dans ces scénarios, les émissions de dioxyde de carbone, en 2100, devraient se situer entre 6 GtC<sup>5</sup> par an environ, ce qui correspond à peu près au niveau d'émission actuel, et 36 GtC par an, la valeur la plus basse du GIEC correspondant à l'hypothèse d'une faible croissance démographique et économique d'ici 2100. Les émissions de méthane devraient se situer entre 540 et 1170 Tg<sup>6</sup> de CH<sub>4</sub> par an (alors qu'elles s'établissaient à environ 500 Tg de CH<sub>4</sub> en 1990), alors que les émissions d'oxyde nitreux devraient se situer entre 14 et 19 Tg de N par an (contre 13 Tg de N en 1990). Dans tous les cas de figure, la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et le forçage radiatif total continueraient de s'accroître pendant l'intégralité de la période étudiée, de 1990 à 2100.

**2.7** Si, dans l'hypothèse du scénario moyen du GIEC (IS92a), l'on introduit dans les modèles la "valeur la plus probable" de la sensibilité du climat<sup>7</sup> et qu'on tient compte de l'incidence de l'augmentation prévue de la concentration d'aérosols, les modèles aboutissent à une augmentation de la température moyenne



globale à la surface d'environ 2°C entre 1990 et 2100. Cette valeur est d'un tiers inférieure environ à la "valeur la plus probable" déterminée en 1990. Une telle différence est due essentiellement au plus faible niveau d'émissions prévu par le scénario (en particulier pour le CO<sub>2</sub> et les CFC), à la prise en compte de l'effet de refroidissement des aérosols sulfatés et à l'amélioration du traitement du cycle du carbone. Si on combine le scénario du GIEC correspondant aux émissions les plus basses (IS92c), avec une "faible" valeur de la sensibilité du climat et qu'on tient compte de l'incidence de la progression prévue de la concentration d'aérosols, on aboutit à une augmentation de température d'environ 1°C en 2100. Si on combine le scénario correspondant aux émissions du GIEC les plus élevées (IS92e) avec une valeur "élevée" de la sensibilité du climat, on aboutit à un réchauffement de 3,5°C environ. Dans tous les cas de figure, le réchauffement se produirait à un taux moyen probablement plus élevé que ce qu'on a connu depuis 10 000 ans, mais l'évolution réelle à échéance de un à dix ans comprendrait une part considérable de variabilité naturelle. Les variations régionales des températures pourraient être sensiblement différentes de leur valeur en moyenne globale. En raison de l'inertie thermique des océans, la température de l'air, en 2100, n'aurait progressé que de 50 à 90 % vers son point d'équilibre; elle continuerait d'augmenter au-delà de cette date, même si la concentration de gaz à effet de serre s'était alors stabilisée.

**2.8** On prévoit une élévation du niveau moyen de la mer suite au réchauffement des océans et à la fonte des glaciers et des calottes glaciaires. Si, dans l'hypothèse du scénario moyen du GIEC (IS92a), l'on introduit dans les modèles la "valeur la plus probable" de la sensibilité du climat et qu'on tient compte de l'incidence de l'augmentation prévue de la concentration d'aérosols, les modèles aboutissent à une élévation du niveau de la mer d'environ 50 cm entre aujourd'hui et 2100. Cette valeur est inférieure de 25 % environ à la "valeur la plus probable" déterminée en 1990, en raison d'une élévation de température moindre selon les nouvelles projections, mais aussi en raison de l'amélioration des modèles du climat et de la fonte des glaces. Si on combine le scénario du GIEC correspondant aux émissions les plus basses (IS92c), avec une "faible" valeur de la sensibilité du climat et qu'on tient compte de l'inci-

dence des aérosols, on aboutit à une élévation du niveau de la mer de 15 cm environ entre aujourd'hui et 2100. Si on combine le scénario correspondant aux émissions du GIEC les plus élevées (IS92e) avec une valeur "élevée" de la sensibilité du climat, on aboutit à une élévation du niveau de la mer de 95 cm environ entre aujourd'hui et 2100. Le niveau de la mer continuerait de s'élever à une allure semblable au-delà de cette date, même si la concentration de gaz à effet de serre s'était alors stabilisée. Il continuerait de s'élever après que la température moyenne globale se soit stabilisée. A l'échelle régionale, les variations du niveau de la mer pourraient être différentes de leurs variations en moyenne globale à cause de mouvements de terrain et de modifications des courants océaniques.

**2.9** Les résultats des modèles climatiques couplant l'océan et l'atmosphère inspirent davantage confiance à l'échelle hémisphérique à continentale qu'à l'échelle régionale pour laquelle le degré de confiance reste bas. On a plus confiance dans les résultats relatifs à la température que dans ceux qui concernent l'hydrologie.

**2.10** Dans toutes les simulations obtenues à partir de modèles, que l'on tienne compte du forçage dû à l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre et d'aérosols ou uniquement du forçage dû à l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre, on aboutit aux résultats suivants : augmentation de la température en surface plus importante sur terre que sur mer en hiver; augmentation de la température de surface maximale dans les latitudes élevées de l'hémisphère Nord en hiver; faible augmentation de la température de surface dans l'Arctique en été; intensification du cycle hydrologique global moyen et accroissement de la hauteur des précipitations et de l'humidité du sol dans les latitudes élevées en hiver. Toutes ces variations s'expliquent par des mécanismes physiques identifiables.

**2.11** L'augmentation des températures va entraîner le renforcement du cycle hydrologique, d'où un risque d'aggravation des sécheresses et/ou des inondations à certains endroits et une possibilité de diminution de l'ampleur de ces phénomènes à d'autres endroits. Plusieurs modèles prévoient une augmentation de l'intensité des précipitations, ce qui pourrait conduire

à des épisodes pluvieux plus extrêmes. Nos connaissances actuelles sont insuffisantes pour qu'on puisse dire si le nombre ou la répartition géographique de fortes tempêtes telles que les cyclones tropicaux va varier.

**2.12** Actuellement, de nombreuses incertitudes et de nombreux facteurs limitent notre capacité à prévoir et à détecter les changements climatiques à venir. Des variations inattendues, rapides et de grande ampleur du système climatique (comme il s'en est produit par le passé) sont difficiles à prévoir de par leur nature même. La future évolution du climat risque donc de nous réserver des "surprises", dues notamment au caractère non linéaire du système climatique. En cas de forçage rapide, les systèmes non linéaires sont particulièrement susceptibles de comportements imprévisibles. Il est possible de réaliser des progrès en étudiant les processus et les sous-éléments non linéaires du système climatique. Citons, parmi les exemples de phénomènes non linéaires, les bouleversements rapides de la circulation dans l'Atlantique Nord et les rétroactions liées aux changements dans les écosystèmes terrestres.

### **3. Sensibilité et adaptation des systèmes à l'évolution du climat**

**3.1** On trouvera dans la présente section des informations scientifiques et techniques pouvant servir notamment à évaluer si l'ensemble prévu d'incidences envisageables de l'évolution du climat est susceptible d'entraîner des "perturbations anthropiques dangereuses du système climatique", telles que définies dans l'article 2 de la Convention-cadre, ainsi qu'à évaluer les possibilités d'adaptation à cette évolution. Cependant, il n'est pas encore possible de relier certains impacts avec des concentrations spécifiques de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

**3.2** La santé humaine, les écosystèmes terrestres et aquatiques et les systèmes socio-économiques (agriculture, exploitation forestière, pêche et ressources en eau, par exemple), éléments indispensables au développement et au bien-être de l'humanité, sont sensibles, à la fois, à l'ampleur et au rythme des variations climatiques. Si de nombreuses régions sont

susceptibles de souffrir des effets négatifs de l'évolution du climat, dont certains risquent d'être irréversibles, quelques-uns des effets du changement climatique seront vraisemblablement bénéfiques. C'est pourquoi les divers secteurs de la société doivent s'attendre à être confrontés à des bouleversements multiples et à la nécessité de s'y adapter.

**3.3** 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, l'exigence croissante de ressources et les pratiques de gestion non durable. La vulnérabilité des systèmes sanitaires et socioéconomiques – et, dans une moindre mesure, des écosystèmes – dépend des conditions économiques et de l'infrastructure institutionnelle. Il s'ensuit qu'en général, les systèmes sont plus vulnérables dans les pays en voie de développement, où les conditions économiques et institutionnelles sont moins favorables.

**3.4** 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 évaluation quantitative des incidences de l'évolution du climat sur un système donné et à un endroit donné est difficile à établir du fait de l'incertitude des prévisions climatiques à l'échelle régionale, d'une connaissance actuellement limitée de nombreux processus essentiels, de la sensibilité des systèmes à de multiples contraintes climatiques et non climatiques dont les interactions ne sont pas toujours linéaires ou additives, et du fait que très peu d'études ont porté sur les réactions dynamiques des systèmes à une augmentation progressive de la concentration de gaz à effet de serre ou sur les conséquences d'une augmentation des concentrations allant au-delà d'un doublement des concentrations équivalentes de CO<sub>2</sub>

**3.5** Pendant plusieurs dizaines d'années, il sera très difficile de déterminer avec certitude dans quelle mesure les changements dans la plupart 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 rétroactions non linéaires et de leur sensibilité à une multitude de facteurs climatiques et non climatiques

qui, vraisemblablement, vont continuer à évoluer simultanément. Il est d'autant plus probable que l'avenir nous réservera des surprises et des changements rapides inattendus que l'évolution envisagée du climat dépasse les limites de nos connaissances empiriques (qui se limitent aux incidences connues des variations des climats du passé).

## Sensibilité des systèmes

### *Ecosystèmes terrestres et aquatiques*

**3.6** 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. La composition et la répartition géographique de nombreux écosystèmes (forêts, prairies, déserts, écosystèmes de montagne, lacs, zones humides et océans, par exemple) vont se modifier à cause des réactions de diverses espèces à l'évolution du climat. La diversité biologique et les biens et services que les écosystèmes offrent à la société vont vraisemblablement diminuer. Il faudra sans doute plusieurs centaines d'années après la stabilisation du climat pour que certains écosystèmes parviennent à un nouvel équilibre. La présente section illustre les incidences des changements climatiques sur certains écosystèmes déterminés.

**3.7 Forêts.** Selon les modèles, 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 CO<sub>2</sub>, une proportion importante des zones actuellement boisées (un tiers en moyenne mondiale – d'un septième aux deux tiers selon les régions) subiraient une vaste mutation des grands types de végétation, maximale aux latitudes élevées et minimale aux latitudes tropicales. On s'attend à ce que le climat évolue

à une allure rapide par rapport au rythme de croissance, de reproduction et de régénération des essences forestières. 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. 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.

**3.8 Déserts et désertification.** Les conditions des régions désertiques risquent de devenir plus extrêmes : à quelques exceptions près, on prévoit que ces régions deviendront plus chaudes mais guère plus humides. Un réchauffement pourrait mettre en danger des organismes déjà proches des limites de la tolérance thermique. La désertification – dégradation des sols dans les zones arides, semiarides et subhumides sèches, due à divers facteurs dont les variations climatiques et les activités humaines – 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.

**3.9 Ecosystèmes 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 à cause de la disparition de leur habitat ou de la réduction de leur potentiel de migration.

**3.10 Ecosystèmes aquatiques et côtiers.** 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. La répartition géographique des zones humides risque de se modifier en raison de l'évolution des températures et des précipitations. 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. Certains écosystèmes côtiers sont particulièrement menacés, notamment les marais d'eau salée, les mangroves, les marécages côtiers, les plages de sable, les récifs de corail, les 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.

### *Hydrologie et gestion des ressources en eau*

**3.11** Selon les modèles, une proportion de un tiers à la moitié de la masse des glaciers alpins actuels pourrait disparaître au cours des 100 prochaines années. La réduction de la superficie des glaciers et de l'enneigement risque de 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 de l'infrastructure, un rejet plus important de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et la modification des processus qui contribuent au rejet de méthane dans l'atmosphère.

**3.12** L'évolution du climat va conduire à une intensification du cycle hydrologique global et peut avoir d'importantes répercussions sur les ressources régionales en eau. Les variations de la hauteur 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 de ces variations à l'échelle régionale. Des variations relativement faibles des températures et des précipitations, associées à leurs effets non linéaires sur l'évapotranspiration et l'humidité du sol, peuvent entraîner une altération assez sensible du ruissellement, surtout dans les régions arides et semi-arides. La quantité et la qualité des eaux de distribution posent déjà de sérieux problèmes dans de nombreuses régions, et notamment dans certaines zones côtières, dans certains deltas et sur certaines petites îles, ce qui rend les pays concernés particulièrement vulnérables en cas de nouvelles réductions de la quantité d'eau disponible *in situ*.

### *Agriculture et exploitation forestière*

**3.13** 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 transformera les modes de production. Il est prévu que la productivité augmente dans certaines régions et diminue dans d'autres, surtout aux latitudes tropicales et subtropicales. Les études effectuées jusqu'à présent à partir de modèles supposant un doublement de la concentration équivalente de CO<sub>2</sub> indiquent que dans l'ensemble, la production agricole mondiale pourrait se maintenir par rapport au niveau actuel. Cette conclusion tient compte du rôle fertilisant du CO<sub>2</sub> mais non des incidences des parasites et des conséquences possibles d'une modification de la variabilité climatique. Cependant, l'examen de la production agricole mondiale ne rend pas compte des conséquences graves que peuvent avoir des différences sensibles à l'échelle locale et régionale, même dans les moyennes latitudes. Les risques de disette alimentaire et de famine pourraient 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 agricole isolés) que le problème de la faim est susceptible de s'intensifier le plus. Au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, l'approvisionnement mondial en bois risque de correspondre de moins en moins à la demande envisagée en raison de facteurs tant climatiques que non climatiques.

### *Infrastructure humaine*

**3.14** 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. Faute de mesures d'adaptation et si l'on ne tient pas compte de la croissance démographique prévue, 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. Diverses études prévoyant une élévation d'un mètre indiquent que les petites îles et les deltas sont particulièrement exposés. Une telle élévation

correspond à la limite supérieure des estimations établies par le Groupe de travail I du GIEC pour 2100. Il est à noter cependant que, selon les modèles, le niveau de la mer devrait continuer à monter au-delà du XXI<sup>e</sup> siècle. 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'Égypte, de 6,0% pour les Pays-Bas, de 17,5% pour le Bangladesh et d'environ 80% pour l'île Majuro, dans l'archipel Marshall. 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. Les tempêtes et les inondations menaceraient ainsi des civilisations entières. L'élévation du niveau de la mer pourrait y obliger des populations entières à des migrations internes ou internationales.

### *Santé humaine*

**3.15** L'évolution du climat risque d'avoir des conséquences nombreuses et essentiellement préjudiciables pour la santé et d'accroître sensiblement la mortalité. Les conséquences directes de cette évolution seraient l'accroissement de la mortalité et des affections (en majorité cardiorespiratoires) imputables à l'augmentation prévue de l'intensité et de la durée des vagues de chaleur. Le réchauffement des régions froides pourrait se traduire par une diminution du taux de mortalité dû au froid. Les conséquences indirectes de l'évolution du climat, qui devraient être prédominantes, seraient le risque de recrudescence de maladies infectieuses à transmission par vecteur (telles que le paludisme, la fièvre 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 de 3 à 5°C d'ici 2100 – contre 1 à 3,5°C selon la projection du GIEC –, on pourrait observer une recrudescence du paludisme (de l'ordre de 50 à 80 millions de cas supplémentaires par an par rapport à un total mondial 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 mala-

dies infectieuses à transmission non vectorielle telles que la salmonellose, le choléra et la giardiase pourrait également s'étendre en raison de l'élévation des températures et de la multiplication des inondations. La raréfaction de l'eau douce et des denrées alimentaires nutritives et l'aggravation de la pollution de l'air vont également se répercuter sur la santé.

**3.16** Il est difficile de quantifier les incidences prévues de l'évolution du climat sur la santé, car la gravité des problèmes sanitaires imputables à cette évolution 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. Ainsi, la vulnérabilité des populations face aux incidences des changements climatiques sur la santé dépendrait de leurs ressources naturelles, techniques et sociales.

### **Techniques et mesures d'adaptation envisageables**

**3.17** De façon générale, les progrès techniques ont élargi les possibilités d'adaptation des systèmes gérés par l'homme. En ce qui concerne les ressources en eau douce, les mesures d'adaptation envisageables comprennent une gestion plus efficace des ressources et de l'infrastructure actuelles, des dispositions institutionnelles visant à limiter la demande future et à promouvoir la conservation de ces ressources, 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 nouvelles retenues. En matière d'agriculture, ces mesures d'adaptation consistant par exemple à modifier les cultures ou les variétés cultivées, à améliorer les techniques de gestion des eaux et d'irrigation et à modifier le calendrier des plantations et les techniques agricoles, joueront un rôle important pour limiter les effets négatifs de l'évolution du climat et pour bénéficier de ses effets positifs. Une gestion efficace des zones côtières et une réglementation de l'aménagement du territoire pourraient contribuer à éloigner les populations de secteurs vulnérables tels que zones d'inondation, collines escarpées ou zones côtières de

basse altitude. Les mesures d'adaptation permettant de réduire les incidences de l'évolution du climat sur la santé sont les dispositifs de protection (logement, climatisation, épuration des eaux et vaccinations), la préparation à des catastrophes et les soins de santé appropriés.

**3.18** Cependant, l'accès de nombreuses régions du monde à ces techniques et aux informations appropriées est actuellement limité. Pour certains États insulaires, le prix de la protection est pratiquement prohibitif, en raison essentiellement de la faiblesse des capitaux susceptibles d'être investis. L'efficacité et l'utilisation à bon compte des stratégies d'adaptation va dépendre 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 les plans ordinaires d'investissements d'infrastructure va faciliter l'adaptation à cette évolution.

#### **4. Approche analytique de la stabilisation de la concentration de gaz à effet de serre**

**4.1** L'article 2 de la Convention-cadre sur les changements climatiques parle explicitement de "*stabiliser [...] les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère*". On trouvera dans la présente section des informations sur l'importance relative des divers gaz à effet de serre pour le forçage du système climatique et sur la façon de faire varier les émissions de ces gaz en vue d'en stabiliser la concentration dans l'atmosphère à des niveaux choisis.

**4.2** Les émissions de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux sont d'origine soit naturelle, soit anthropique. Depuis l'époque préindustrielle (c'est-à-dire depuis 1750 environ), les émissions anthropiques de ces gaz ont contribué à 80% environ du forçage climatique supplémentaire dû aux gaz à effet de serre. Les émissions de CO<sub>2</sub>, environ quatre fois plus élevées que celles de CH<sub>4</sub>, contribuent à 60% de ce forçage.

**4.3** Les autres gaz à effet de serre comprennent l'ozone troposphérique (dont les précurseurs chimiques sont les oxydes d'azote, les hydrocarbures non méthaniques et le monoxyde de carbone), les hydrocarbures halogénés<sup>9</sup> (dont les HCFC et les HFC) et l'hexafluorure de soufre. Les aérosols et l'ozone troposphériques ont une répartition hétérogène dans le temps et l'espace et une courte durée de vie dans l'atmosphère (de quelques jours à quelques semaines). Les aérosols sulfatés sont susceptibles d'être l'objet de mesures de réduction, prises d'ailleurs en compte dans les scénarios du GIEC.

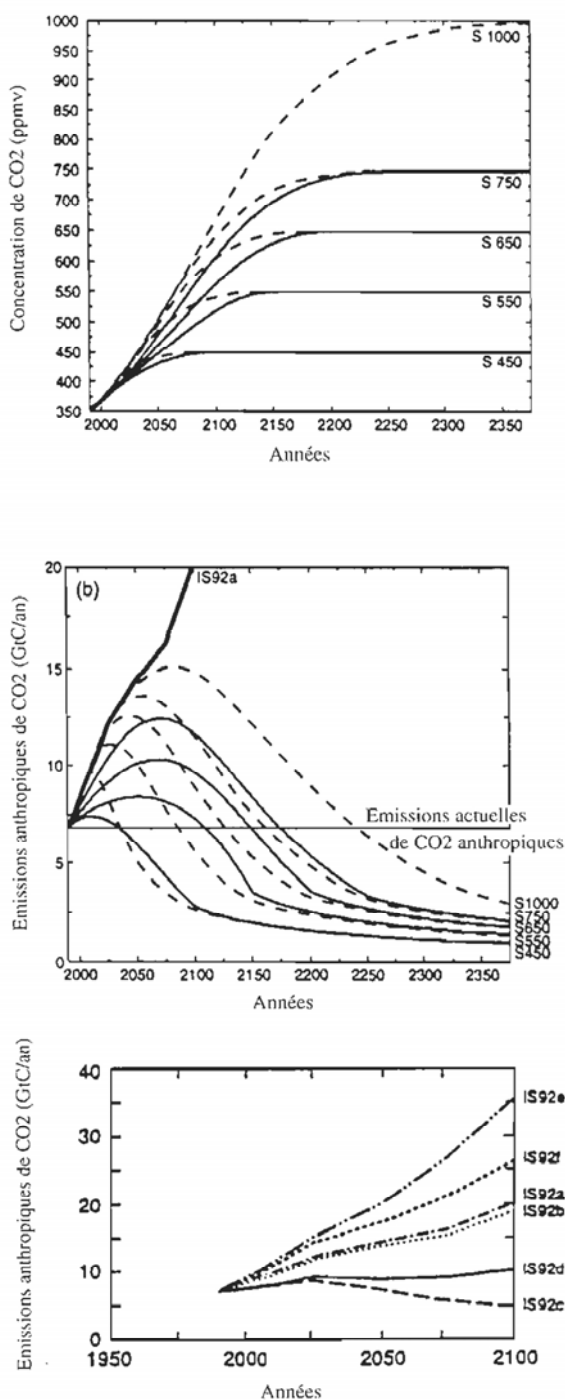
**4.4** Selon la plupart des scénarios concernant les émissions, faute de politiques d'atténuation, les émissions de gaz à effet de serre vont continuer de s'accroître au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, entraînant des concentrations dont les modèles prévoient qu'elles apporteront au climat des modifications plus profondes que celles qui correspondent à un doublement de la concentration de dioxyde de carbone par rapport à l'époque préindustrielle.

#### **Stabilisation des gaz à effet de serre**

**4.5** Pour envisager la stabilisation de la concentration des gaz à effets de serre, il convient de considérer l'ensemble des gaz concernés. Nous allons commencer par le dioxyde de carbone, qui, en raison de son importance et de la complexité de son comportement, nécessite une étude plus approfondie que les autres gaz à effet de serre.

#### *Le dioxyde de carbone*

**4.6** Divers processus se déroulant à des échelles de temps différentes sont à l'origine de l'élimination du dioxyde de carbone de l'atmosphère. Le CO<sub>2</sub> a une durée de vie relativement longue dans l'atmosphère, de l'ordre d'un siècle ou davantage. Si les émissions nettes globales d'origine humaine<sup>10</sup> devaient se maintenir à leur niveau actuel (environ 7 GtC par an, y compris les émissions dues à la combustion de combustibles fossiles, à la production de ciment et à la modification de l'occupation des sols), la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère s'élèverait de façon pratiquement constante pendant au moins 200 ans,



**Figure 1 (a). Profils de la concentration de dioxyde de carbone** devant permettre une stabilisation au niveau 450, 550, 650 ou 750 ppmv selon les trajets établis par le GIEC (1994) (traits pleins) et en supposant que le scénario IS92a sera vérifié au moins jusqu'en 2000 (tirets). Un seul profil a été tracé pour la stabilisation de la concentration de dioxyde de carbone au niveau 1000 ppmv, en supposant que le scénario IS92a sera suivi au moins jusqu'en 2000. Le dioxyde de carbone seul (c'est-à-dire sans tenir compte de l'incidence des autres gaz à effet de serre (GES) et des aérosols) entraînerait une élévation de la température d'équilibre par rapport à 1990<sup>15</sup> d'environ 1°C (fourchette de 0,5 à 1,5°C) en cas de stabilisation au niveau 450 ppmv, d'environ 2°C (fourchette de 1,5 à 4°C) pour 650 ppmv et d'environ 3,5°C (fourchette de 2 à 7°C) pour 1000 ppmv. En cas de doublement de la concentration de CO<sub>2</sub> par rapport à l'époque préindustrielle (où elle s'établissait à 280 ppmv), cette concentration atteindrait 560 ppmv. En cas de doublement par rapport à aujourd'hui (358 ppmv), elle atteindrait à peu près 720 ppmv.

**Figure 1 (b). Emissions de dioxyde de carbone** permettant une stabilisation de la concentration au niveau 450, 550, 650, 750 ou 1000 ppmv selon les profils indiqués en (a), d'après un modèle moyen du cycle du carbone. Les résultats obtenus à partir d'autres modèles pourraient varier jusqu'à  $\pm 15\%$  par rapport aux chiffres présentés ici. A titre de comparaison, on a également représenté les émissions de CO<sub>2</sub> selon le scénario IS92a et les émissions actuelles (traits pleins fins).

**Figure 2. Emissions anthropiques annuelles de dioxyde de carbone** selon les divers scénarios IS92. (On trouvera de plus amples détails dans le tableau 1 du Résumé à l'intention des décideurs publié par le Groupe de travail II du GIEC.)

atteignant 500 ppmv environ vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (soit près du double de la concentration de 280 ppmv observée avant l'ère industrielle). Les modèles du cycle du carbone indiquent qu'une stabi-

lisation immédiate de la concentration de dioxyde de carbone à son niveau actuel ne pourrait être obtenue qu'au prix d'une réduction immédiate de 50 à 70% des émissions de ce gaz et de réductions plus importantes par la suite.

**Tableau 1.** Emissions mondiales totales de dioxyde de carbone d'origine humaine cumulées de 1991 à 2100 (en GtC) selon les divers scénarios IS92 (voir le tableau 1 dans le Résumé à l'intention des décideurs publié par le Groupe de travail II du GIEC) et en cas de stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> à divers niveaux selon les deux ensembles d'échelonnements de l'évolution présentés dans la figure 1(a). Les émissions cumulées de dioxyde de carbone permettant une stabilisation de la concentration aux niveaux définis ont été calculées à partir d'un modèle moyen du cycle du carbone. Les résultats obtenus à partir d'autres modèles pourraient varier jusqu'à ± 15 % par rapport aux chiffres présentés ici.

| Scénarios IS92 | Emissions de dioxyde de carbone cumulées de 1991 à 2100 (en GtC) <sup>a</sup> |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| c              | 770                                                                           |
| d              | 980                                                                           |
| b              | 1 430                                                                         |
| a              | 1 500                                                                         |
| f              | 1 830                                                                         |
| e              | 2 190                                                                         |

| Niveau de stabilisation | Profils A <sup>b</sup> | Profils B <sup>c</sup> |
|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 450 ppmv                | 630                    | 650                    |
| 550 ppmv                | 870                    | 990                    |
| 650 ppmv                | 1 030                  | 1 190                  |
| 750 ppmv                | 1 200 <sup>d</sup>     | 1 300 <sup>d</sup>     |
| 1 000 ppmv              | –                      | 1 410 <sup>d</sup>     |

a On notera à titre de comparaison qu'entre 1860 et 1994, les émissions ont totalisé environ 360 GtC, dont 240 imputables à l'emploi de combustibles fossiles et 120 au déboisement et à la modification de l'occupation des sols.

b Selon les profils de l'évolution établis par le GIEC (1994) : voir la figure 1(a) (traits pleins).

c Profils supposant que le scénario IS92a sera suivi au moins jusqu'en 2000 : voir la figure 1(a) (tirets).

d Concentrations non stabilisées en 2100.

**4.7** Les modèles du cycle du carbone ont été employés afin de prévoir, pour les émissions de dioxyde de carbone, des profils permettant d'aboutir à une stabilisation des concentrations à divers niveaux. De tels profils ont été établis pour certains niveaux caractéristiques : 450, 550, 650, 750 et 1000 ppmv. La figure 1 illustre deux des nombreux échelonnements de l'évolution envisageables pour obtenir une stabilisation aux niveaux 450, 550, 650 et 750 ppmv, et un de ces échelonnements pour le niveau 1000 ppmv. Dans ces scénarios, plus la courbe représentant l'augmentation des émissions (donc la concentration) est prononcée, plus l'évolution du climat se produira rapidement.

**4.8** Toute stabilisation des concentrations à un moment donné dépendra davantage des émissions cumulées de CO<sub>2</sub> d'origine humaine de maintenant au moment de la stabilisation que de l'évolution de ces émissions pendant cette période. Cela implique que pour obtenir la stabilisation des concentrations à un certain niveau, il faudra réduire les émissions davantage ultérieurement si elles restent plus élevées dans un premier temps. Le tableau 1 indique les émissions cumulées de 1991 à 2100 correspondant aux niveaux définis, ainsi que les émissions cumulées de dioxyde de carbone pour l'ensemble des scénarios IS92 du GIEC. (On trouvera des détails sur ces scénarios dans la figure 2 ci-après ainsi que dans le tableau 1 du Résumé à l'intention des décideurs publié par le Groupe de travail II du GIEC.)

**4.9** La figure 1 et le tableau 1 illustrent certaines des contraintes imposables aux émissions futures de dioxyde de carbone afin que la concentration de CO<sub>2</sub> se stabilise aux niveaux indiqués. Ces exemples ne constituent nullement des recommandations quant à la façon d'atteindre les niveaux définis ni quant au niveau auquel la concentration de CO<sub>2</sub> devrait être stabilisée.

**4.10** On peut, en se fondant sur les émissions cumulées et sur le scénario IS92a du GIEC pour la période



1990-2100 en matière démographique et économique, calculer, selon les divers scénarios de stabilisation, la moyenne annuelle globale des émissions de dioxyde de carbone par habitant ou par unité d'activité économique. Pour que la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère reste inférieure à 550 ppmv, la moyenne annuelle globale des émissions ne devra pas dépasser la moyenne actuelle globale au cours du siècle prochain et devra même devenir nettement inférieure avant la fin et au-delà du XXI<sup>e</sup> siècle. Pour que cette concentration se stabilise à un niveau situé entre 750 et 1000 ppmv, les émissions pourront être plus élevées en moyenne annuelle globale. Néanmoins, même pour obtenir un tel niveau, il faudra limiter la moyenne annuelle globale des émissions à moins de 50% du niveau actuel par habitant ou par unité d'activité économique<sup>12</sup>.

**4.11**<sup>13</sup> Actuellement, la moyenne mondiale annuelle des émissions de dioxyde de carbone s'élève à 1,1 tonne (de carbone) par habitant. En outre, le déboisement et la modification de l'occupation des sols produisent des émissions nettes égales à 0,2 tonne par habitant. Dans les pays développés ou ceux dont l'économie est en transition, la moyenne annuelle des émissions dues aux combustibles fossiles s'élève à environ 2,8 tonnes par habitant, avec une fourchette de 1,5 à 5,5 tonnes. Dans les pays en voie de développement, elle s'élève à 0,5 tonne, avec une fourchette de 0,1 tonne à plus de 2,0 tonnes dans un petit nombre de cas (l'ensemble de ces chiffres étant valables pour 1990).

**4.12**<sup>14</sup> Selon les données de la Banque mondiale sur le PIB (produit intérieur brut) au taux de change du marché, la moyenne mondiale annuelle des émissions de dioxyde de carbone liées à l'énergie est actuellement de 0,3 tonne par millier de dollars US (au taux 1990) de PIB. Les émissions mondiales nettes dues à la modification de l'occupation des sols s'élèvent à environ 0,05 tonne par millier de dollars US (au taux 1990) de PIB. La moyenne annuelle des émissions liées à l'énergie, pour US\$ 1000 (au taux 1990) de PIB évalué au taux de change du marché, est actuellement d'environ 0,27 tonne dans les pays développés ou dont l'économie est en transition et d'environ 0,41 tonne dans les pays en voie de développement. En utilisant les estimations du PIB faites par la Banque mondiale avec des taux de

change fondés sur la parité de pouvoir d'achat, la moyenne annuelle des émissions liées à l'énergie est actuellement, pour US\$ 1000 (au taux 1990) de PIB, d'environ 0,26 tonne dans les pays développés ou dont l'économie est en transition et d'environ 0,16 tonne dans les pays en voie de développement<sup>15</sup>.

### *Le méthane*

**4.13** La concentration de méthane dans l'atmosphère suit l'évolution des émissions d'origine humaine sur une période de 9 à 15 ans. Pour que cette concentration se stabilise au niveau d'aujourd'hui, il faudrait que les émissions soient immédiatement réduites d'environ 30 Tg CH<sub>4</sub> par an (soit 8% environ des émissions anthropiques actuelles). Si les émissions de méthane devaient se maintenir au niveau actuel, la concentration de méthane (qui était de 1720 ppbv en 1994) passerait à 1820 ppbv d'ici 40 ans.

### *L'oxyde nitreux*

**4.14** L'oxyde nitreux a une longue durée de vie (120 ans environ). Pour que la concentration d'oxyde nitreux se stabilise à peu près au niveau actuel (312 ppbv en 1994), il faudrait que les sources anthropiques de ce gaz soient immédiatement réduites de plus de 50%. Si les émissions devaient se maintenir au niveau actuel, la concentration d'oxyde nitreux passerait à 400 ppbv environ sur plusieurs centaines d'années, multipliant par quatre son forçage radiatif différentiel par rapport au niveau actuel.

### *Autres éléments concernant la stabilisation*

**4.15** La stabilisation de la concentration de gaz à très longue durée de vie tels que l'hexafluorure de soufre et les hydrocarbures perfluorés ne peut s'obtenir de façon effective qu'en mettant fin aux émissions de ces gaz.

**4.16** Dans tous les scénarios IS92 (a à f), le forçage climatique dû au CO<sub>2</sub> par rapport à celui imputable aux autres gaz à effet de serre s'accroît avec le temps. Dans le scénario IS92a, par exemple, il doit passer de

60% actuellement à 75% environ en 2100. Pendant la même période, le forçage dû au méthane et à l'oxyde nitreux s'accroît de deux à trois fois en valeur absolue.

**4.17** On exprime fréquemment le forçage radiatif combiné dû à l'ensemble des gaz à effet de serre sous forme de concentration équivalente de dioxyde de carbone qui aboutirait au même forçage. En raison des effets des autres gaz à effet de serre, la stabilisation à un niveau donné de la concentration équivalente de dioxyde de carbone impliquerait le maintien de la concentration de dioxyde de carbone à un niveau plus bas.

**4.18** La stabilisation de la concentration de gaz à effet de serre ne signifie pas pour autant que le climat cesserait d'évoluer. Après cette stabilisation, la température moyenne globale à la surface continuerait d'augmenter pendant quelques centaines d'années et le niveau de la mer de s'élever pendant beaucoup de centaines d'années.

## 5. Techniques et mesures d'atténuation envisageables

**5.1** Dans le Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC (1995), un grand nombre de mesures visant à réduire les émissions et à accroître les puits de gaz à effet de serre sont étudiées. On trouvera dans la présente section des informations techniques sur les solutions pouvant être adoptées afin de réduire les émissions d'origine humaine et accroître les puits des principaux gaz à effet de serre en vue de stabiliser la concentration de ces gaz dans l'atmosphère. Cependant, cette analyse ne cherche pas à quantifier les éventuelles conséquences macro-économiques des mesures d'atténuation envisageables.

**5.2** Des réductions sensibles des émissions nettes de gaz à effet de serre sont techniquement possibles et peuvent être économiquement réalisables. Ces réductions peuvent être obtenues en utilisant une vaste gamme de techniques et de mesures politiques accélérant le développement, la diffusion et le transfert de technologies dans tous les secteurs, y compris le secteur énergétique, industriel, des transports, résidentiel/commercial et agricole/forestier.

**5.3** La mesure dans laquelle les possibilités technologiques et l'efficacité économique seront concrètement réalisées va dépendre d'initiatives visant à remédier à la pénurie d'informations et à surmonter les obstacles culturels, institutionnels, juridiques, financiers et économiques qui peuvent s'opposer à la diffusion des techniques et à l'évolution des comportements.

**5.4** D'ici 2100, le système mondial de fourniture commerciale d'énergie aura été remplacé au moins deux fois, ce qui permettra de modifier le système énergétique sans réforme prématurée des investissements. D'importantes immobilisations corporelles vont être également remplacées dans les secteurs industriel, commercial, résidentiel et agricole/forestier. Ces cycles de remplacement des investissements donnent la possibilité d'exploiter des techniques nouvelles, plus performantes.

## La demande d'énergie

**5.5** 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 pourraient augmenter sensiblement. Plusieurs études indiquent que dans de nombreuses régions du monde, le rendement énergétique peut être accru de 10 à 30% par rapport au niveau actuel dans chacun de ces secteurs à un coût négatif<sup>16</sup> 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. En utilisant les 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 dépendra de la réduction des coûts, du rythme de développement, de la mise en œuvre de nouvelles techniques, du financement et du transfert de technologies, ainsi que des mesures qui seront adoptées pour surmonter divers obstacles non techniques. Comme la consommation d'énergie s'accroît à l'échelle planétaire, les émissions de gaz à effet de serre pourraient continuer à augmenter dans l'absolu à l'avenir, même si l'on remplace les techniques actuelles par des techniques plus efficaces.

Parmi les techniques et mesures permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre chez les utilisateurs du secteur énergétique, on peut citer les suivantes.

- **Industrie** : amélioration du rendement, recyclage des matériaux, utilisation de matériaux utilisant moins d'émissions de gaz à effet de serre et mise au point de processus consommant moins d'énergie et de matière première
- **Transports** : véhicules utilisant des systèmes de propulsion très efficaces, de construction légère et de conception aérodynamique, utilisation de véhicules plus petits, modification du schéma d'occupation des sols, des systèmes de transport, de la conception de la mobilité et du mode de vie, mise en place de moyens de transport moins consommateurs d'énergie, utilisation de carburants de remplacement et d'électricité provenant de sources renouvelables ou d'autres sources n'entraînant pas d'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre.
- **Secteur résidentiel et commercial** : réduction des échanges thermiques par les structures des bâtiments et accroissement du rendement énergétique des appareils de climatisation, de l'alimentation en eau, des dispositifs d'éclairage et des appareils électriques.

## L'offre d'énergie

**5.6** Il est possible, sur le plan technique, de réduire sensiblement d'ici 50 à 100 ans les émissions imputables aux différentes filières énergétiques si l'on fait appel à des stratégies de substitution dans le cadre du planning normal des investissements nécessaires pour remplacer les infrastructures et les équipements à mesure de leur usure ou de leur obsolescence. Voici certaines techniques prometteuses, qui ne sont pas classées ici par ordre de priorité.

a) Réduction des émissions de gaz à effet de serre en cas d'utilisation de combustibles fossiles :

- augmentation du rendement de conversion des combustibles fossiles (par exemple : production combinée d'électricité et de chaleur, et augmentation du rendement de la production d'électricité);
- passage à des combustibles fossiles à faible teneur en carbone et suppression des émissions (passage du charbon au fuel ou au gaz naturel et du fuel au gaz naturel);

- décarburation des gaz brûlés et des combustibles et stockage du dioxyde de carbone (par exemple : extraction et stockage du CO<sub>2</sub>, lors de l'utilisation des combustibles fossiles primaires, de façon à produire des combustibles à haute teneur en hydrogène);
- réduction des émissions fugaces, de méthane en particulier, lors des opérations d'extraction et de distribution de combustibles.

b) Passage à des sources d'énergie autres que les combustibles fossiles :

- passage à l'énergie nucléaire (si des réponses généralement acceptables peuvent 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 (énergie solaire, énergie de la biomasse, énergie éolienne, énergie hydraulique et énergie géothermique, par exemple).

## Intégration des mesures d'atténuation au niveau des filières énergétiques

**5.7** Le potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre est supérieur au potentiel du rendement de l'utilisation de l'énergie en raison de la possibilité de faire appel à d'autres carburants et à d'autres sources d'énergie et de réduire la demande de services énergétiques. Un rendement énergétique encore meilleur, donc des émissions moindres de gaz à effet de serre, pourraient être obtenues grâce à des approches globales allant des sources d'énergie aux services.

**5.8** Afin d'évaluer les incidences éventuelles de la combinaison d'un ensemble de mesures isolées au niveau du système énergétique, on a présenté des "constructions intellectuelles" explorant diverses variantes d'un système d'approvisionnement énergétique à faible taux d'émission de CO<sub>2</sub>. Ces variantes indiquent qu'il est possible, sur le plan technique, de réduire sensiblement d'ici 50 à 10 ans les émissions de CO<sub>2</sub> imputables aux différentes filières énergétiques si l'on fait appel à d'autres stratégies. Elles illustrent la possibilité technique de faire passer, en moyenne mondiale, ces émissions de 6 GtC par an en

1990 à environ 4 GtC par an en 2050 et à environ 2 GtC par an en 2100. La quantité totale de CO<sub>2</sub> rejetée entre 1990 et 2100 se situerait entre 450 et 470 GtC environ et sa concentration dans l'atmosphère resterait inférieure à 500 ppmv.

**5.9** Le coût de services énergétiques intégrés par rapport au coût de l'énergie classique dépend des prix relatifs de l'énergie à l'avenir, qui comportent une grande marge d'incertitude, ainsi que de l'efficacité et du coût supposés pour les techniques de substitution. Cependant, étant donné la vaste fourchette dans laquelle s'inscrit le futur prix de l'énergie, l'une ou plusieurs des variantes citées permettraient sans doute d'assurer les services énergétiques demandés au coût estimé, qui est environ le même que le coût 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 des contraintes sur les ressources et des possibilités techniques qu'on ne connaît qu'imparfaitement, ainsi que des actions menées par les gouvernements et le secteur privé. L'amélioration du rendement énergétique ainsi que des investissements lourds et constants en matière de recherche, de développement et de projets témoins pour favoriser le transfert et la diffusion de nouvelles techniques de production d'énergie sont essentiels si l'on veut parvenir à d'importantes réductions des émissions de gaz à effet de serre. 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.

**5.10** 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. A cause de la variabilité des coûts selon les endroits et les applications, il existe un large éventail de conditions, propice 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.

### **Emissions dues aux processus industriels et aux établissements humains**

**5.11** Dans certains cas, il est possible d'aboutir à des réductions sensibles des émissions de gaz à effet de serre d'origine industrielle, dont le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux, les hydrocarbures halogénés et l'hexafluorure de soufre 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. Les mesures envisageables comprennent la modification des processus de production, l'élimination des solvants, le remplacement de matières premières, la substitution de matériaux, une intensification du recyclage et une réduction de la consommation de matériaux 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.

### **Agriculture, élevage et exploitation forestière**

**5.12** Outre l'utilisation de combustibles issus de la biomasse pour remplacer les combustibles fossiles, la gestion des forêts, des terres agricoles et des prairies pourrait contribuer notablement à réduire les émissions actuelles de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux et à accroître les puits de carbone. Diverses mesures permettraient de conserver 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 mesures envisageables comprennent le maintien du couvert forestier existant, la réduction du déboisement, la régénération naturelle des forêts, la création de plantations et la promotion de l'agrosylviculture. D'autres pratiques, dans le secteur agricole, pourraient conduire à une réduction des émissions de certains gaz à effet de serre tels que le méthane et l'oxyde nitreux. Dans le secteur forestier, les estimations quant au coût de conservation et de 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.

## Moyens d'intervention

**5.13** L'existence de technologies faisant peu appel au carbone est une condition essentielle mais non une garantie de la possibilité de réduire les émissions de gaz à effet de serre à un prix raisonnable. L'atténuation de ces émissions va dépendre des obstacles qui s'opposent à la diffusion et au transfert des technologies, de la mobilisation des ressources financières, du renforcement des capacités dans les pays en voie de développement et dans ceux dont l'économie est en transition et 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 marchés de l'énergie, des conditions économiques, des structures politiques et de la réceptivité des populations. Le rôle de leader joué par les Etats pour l'application de ces mesures contribuera à atténuer les incidences négatives des changements climatiques. Les mesures visant à réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre semblent plus faciles à mettre en œuvre 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 beaucoup peuvent être mises en œuvre unilatéralement par des pays seuls et dont certaines autres seraient applicables par des groupes de pays et nécessiteraient 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. Voici certaines de ces mesures, qui ne sont pas classées ici par ordre de priorité :

- mise en place d'un cadre institutionnel et structurel approprié;
- stratégie de tarification de l'énergie : taxes sur le carbone et l'énergie et réduction des subventions à la consommation d'énergie, par exemple;
- suppression des pratiques actuelles génératrices de distorsions qui entraînent une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, comme certaines subventions et certains règlements, la non-internalisation des coûts environnementaux et les

- distorsions de prix dans le domaine de l'agriculture et des transports;
- droits d'émission négociables;
- programmes volontaires et accords négociés avec l'industrie;
- programmes de gestion de la demande de services publics, fournisseurs d'énergie;
- 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 de la démonstration en matière de 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.

**5.14** Le choix des mesures sur le plan national peut répondre à des objectifs autres que l'efficacité économique – à des objectifs d'ordre fiscal, par exemple. Si l'on fait appel à une taxe sur le carbone ou à une taxe mixte carbone-énergie comme instrument d'une politique de réduction des émissions, il sera possible d'obtenir des recettes substantielles dont la répartition sera susceptible de changer considérablement le coût des mesures d'atténuation. Si l'on répartit les recettes en réduisant les taxes actuellement génératrices de distorsions, on contribuera à abaisser les charges excessives imposées par les régimes fiscaux en vigueur, ce qui, en outre, offrira potentiellement un avantage économique additionnel (double dividende). Parmi les études réalisées en Europe, les plus optimistes à propos des possibilités de recyclage fiscal indiquent par exemple que les coûts seraient plus faibles et même légèrement négatifs dans certains cas. A l'inverse, un recyclage inefficace des recettes fiscales pourrait aboutir à une augmentation des coûts.

Si, par exemple, on utilise les recettes fiscales pour financer des programmes d'Etat ayant un rendement moindre que les investissements que le secteur privé ne fera pas en raison de la taxe, les coûts augmenteront globalement. Le choix des moyens d'action pourrait aussi répondre à certains autres objectifs en matière d'environnement : réduction d'émissions polluantes sans lien avec l'effet de serre, accroissement du couvert forestier ou autres considérations telles que les impacts précis sur des régions ou des communautés données.

## 6. Equité et considérations d'ordre social

**6.1** L'équité constitue un aspect important des politiques climatiques envisageables, de la Convention-cadre et de la poursuite d'un développement durable<sup>17</sup>. La question de l'équité soulève des problèmes de procédure et de substance. Les problèmes de procédure ont trait à la façon de prendre les décisions alors que les problèmes de substance ont trait aux résultats. Pour que des accords soient efficaces et incitent à la coopération, ils doivent être considérés comme légitimes. Or, l'équité est un facteur important de légitimation.

**6.2** L'équité en matière de procédure implique des questions de démarche et de participation. Elle suppose que toutes les Parties puissent participer effectivement aux négociations internationales sur les changements climatiques. Des mesures appropriées visant à permettre aux pays en développement de participer effectivement à ces négociations augmentent les chances de conclure des accords efficaces, durables et équitables sur la meilleure façon de faire face à la menace posée par l'évolution du climat. Le souci d'équité et les répercussions sociales de cette évolution font ressortir la nécessité de renforcer, surtout dans les pays en voie de développement, les capacités propres et institutionnelles permettant de prendre et de mettre en œuvre des mesures collectives de manière légitime et équitable.

**6.3** L'équité en matière de substance comporte deux aspects : la répartition du coût des dommages ou de l'adaptation et la répartition du coût des mesures

d'atténuation du changement climatique. Comme les pays sont extrêmement différents de par leur vulnérabilité, leur richesse, leurs capacités, leurs ressources et autres éléments cités ci-après, le coût des dommages, de l'adaptation et de l'atténuation risque d'être supporté de façon inéquitable, sauf si cette question est explicitement traitée.

**6.4** L'évolution du climat sera probablement coûteuse pour les générations à venir et pour les régions touchées par les dommages, y compris celles où les émissions de gaz à effet de serre sont faibles. Les incidences de l'évolution du climat seront inégalement réparties.

**6.5** Les conséquences dans le temps d'une politique climatique posent également des problèmes d'équité entre générations, car d'une part les générations à venir ne sont pas en mesure d'influer directement sur les politiques adoptées aujourd'hui qui pourraient se répercuter sur leur bien-être, et d'autre part il ne sera peut-être pas possible de les dédommager pour une telle réduction de leur bien-être. L'actualisation est le principal outil analytique dont se servent les économistes pour comparer des effets économiques se produisant à des moments différents. Le choix du taux d'actualisation a une grande importance technique pour l'analyse de la politique à adopter face à l'évolution du climat, car la période considérée est extrêmement longue et le coût de l'atténuation a tendance à être ressenti bien plus tôt que l'avantage des dégâts évités. Plus ce taux est élevé, moins l'analyse donne de poids aux futurs avantages et plus elle en donne aux coûts présents.

**6.6** L'article 3.1 de la Convention-cadre énonce le principe de responsabilités communes mais différenciées et de capacités respectives. Des mesures allant au-delà d'une politique sans "regrets"<sup>18</sup> imposent des coûts à la génération actuelle. Une politique d'atténuation pose inévitablement le problème du partage de ces coûts. Les intentions des Parties en ce qui concerne la limitation initiale des émissions, affirmées à l'Annexe I, constituent un premier pas collectif de ces parties face à l'évolution du climat.

**6.7** Le souci d'équité peut se traduire par diverses propositions de répartition des coûts de l'atténuation. La plupart de ces propositions se regroupent ou

s'associent autour de deux grandes approches : une affectation de ressources proportionnelle au niveau d'émissions par habitant et une affectation de ressources fondée sur l'écart par rapport à un niveau national de référence (actuel ou projeté). Les incidences de l'évolution du climat ne sont pas les mêmes pour les pays en voie de développement et pour les pays développés. Souvent, les premiers ont des priorités différentes urgentes et des institutions plus faibles et ils sont généralement plus vulnérables face à cette évolution. Il est probable cependant que la part des émissions dues aux pays en voie de développement va encore s'accroître en réponse à leurs besoins sociaux et en matière de croissance. Il est probable que les émissions de gaz à effet de serre vont prendre une dimension de plus en plus universelle malgré la persistance de disparités considérables par habitant.

**6.8** Il existe, tant parmi les pays développés que parmi les pays en voie de développement, des différences considérables qui influent sur l'application des principes de l'équité à l'atténuation de l'évolution du climat. Ces différences portent sur les niveaux antérieurs et cumulatifs des émissions, sur leur niveau actuel total et par habitant, sur leur intensité en fonction de la production économique, sur les projections concernant les futures émissions ainsi que sur d'autres facteurs tels que la richesse, la structure énergétique et les ressources disponibles.

**6.9** Divers principes éthiques, comme l'importance de satisfaire les besoins fondamentaux de l'individu, peuvent s'appliquer au traitement de l'évolution du climat, mais l'application des principes établis pour guider l'attitude de chacun dans les rapports entre Etats est complexe et difficile. Les politiques relatives aux changements climatiques ne doivent ni aggraver les disparités régionales existantes ni chercher à résoudre l'ensemble des problèmes qui se posent en matière d'équité.

## **7. Pour un développement économique durable**

**7.1** Le développement économique, le développement social et la protection de l'environnement sont des éléments, interdépendants et se renforçant mutuel-

lement, du développement durable qui constitue le cadre de nos efforts pour parvenir à une meilleure qualité de la vie pour l'ensemble de l'humanité. Selon la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, les mesures de lutte contre les changements climatiques doivent être coordonnées de façon intégrée avec le développement économique et social afin d'éviter toute incidence préjudiciable à celui-ci, compte tenu de l'ensemble des priorités légitimes des pays en voie de développement en matière de développement durable et d'élimination de la pauvreté. La Convention affirme également les responsabilités communes mais différenciées et les capacités respectives des Parties en matière de protection du système climatique. On trouvera dans la présente section un bref résumé des connaissances actuelles concernant les coûts et les avantages des mesures d'atténuation et d'adaptation, notamment dans leurs rapports avec la durabilité du développement économique et de l'environnement.

### **Coût social de l'évolution du climat**

**7.2** Les dommages nets dus à l'évolution du climat comprennent les incidences liées au marché et celles qui n'y sont pas liés, pour autant qu'elles puissent être actuellement quantifiées, ainsi, dans certains cas, que les coûts d'adaptation. On exprime les dommages en valeur nette pour tenir compte de certains avantages des changements climatiques qui sont cependant nettement inférieurs au coût des dommages. Les incidences non liées au marché telles que la dégradation de la santé humaine, le risque de mortalité et la détérioration des écosystèmes représentent une part importante des estimations disponibles du coût social de l'évolution du climat. L'estimation des dommages hors marché est cependant très incomplète et possède un caractère hautement spéculatif. Elle constitue une source d'incertitudes considérables pour l'évaluation des répercussions de l'évolution mondiale du climat sur le bien-être de l'humanité.

**7.3** La littérature examinée aboutit, pour un réchauffement de 2 à 3°C, à des estimations ponctuelles très diverses des dommages totaux en tenant compte de l'augmentation prévue de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les estimations totalisées des

dommages, qui correspondent à quelques points de pourcentage du PIB mondial, représentent en général une proportion nettement plus élevée du PIB dans les pays en voie de développement. De telles estimations comportent une incertitude considérable, mais la littérature ne permet pas de déterminer l'ampleur de cette incertitude. Il est impossible de considérer la fourchette des estimations comme une barre d'erreur, étant donné les hypothèses et les méthodologies très diverses adoptées pour les différentes études. La globalisation est susceptible de masquer des incertitudes encore plus grandes à propos des divers éléments des dommages considérés. Une évaluation des conséquences de l'évolution du climat par région ou par secteur conduit à une fourchette nettement plus large pour les estimations des effets économiques nets de cette évolution. Dans certaines régions, on estime que les dommages seront nettement plus élevés et risqueront de nuire au développement économique. Dans d'autres régions, on estime que l'évolution du climat augmentera la production économique et offrira des possibilités de développement économique. Si l'on donnait partout à la vie humaine la même valeur que celle qu'on lui attribue généralement dans les pays développés, la valeur des dommages exprimée en termes financiers serait multipliée par un facteur de plusieurs unités et la part des pays en voie de développement dans l'estimation du dommage total s'accroîtrait encore. Les petites îles et les zones côtières de faible altitude sont particulièrement vulnérables. Ces estimations ne tiennent pas compte des dommages découlant d'éventuelles catastrophes à grande échelle telles que des changements de la circulation océanique.

### **Avantages de la limitation des changements climatiques**

**7.4** La limitation des émissions de gaz à effet de serre et l'accroissement des puits de ces gaz ont pour intérêt: a) la prévention des dommages dus à l'évolution du climat et des coûts d'adaptation; et b) les avantages économiques et écologiques indirects découlant de politiques adaptées : réduction des polluants produits parallèlement aux gaz à effet de serre, maintien de la diversité biologique, innovation technologique occasionnée par la lutte contre les changements climatiques, par exemple.

### **Coût des mesures d'adaptation**

**7.5** Il existe de nombreuses solutions pour s'adapter aux impacts des changements climatiques qui permettent de réduire les dommages subis par les économies nationales et les écosystèmes naturels. Des solutions d'adaptation existent dans divers secteurs : agriculture, énergie, santé, gestion des zones côtières, pêche hauturière et loisirs. Certaines de ces solutions permettent de mieux faire face aux conséquences actuelles de la variabilité du climat. Il n'existe aucune évaluation systématique du coût des mesures d'adaptation devant permettre de faire face aux incidences des changements climatiques sur l'agriculture, la santé humaine, l'approvisionnement en eau et d'autres domaines. Dans les cas où de telles mesures sont techniquement envisageables, le coût de l'adaptation, par exemple à l'élévation du niveau de la mer, risque d'être inabordable pour certains pays en l'absence d'une aide de l'extérieur.

### **Coût et avantages des mesures d'atténuation**

**7.6** Le coût des mesures de stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau et dans un délai qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique dépendra essentiellement de l'échelonnement dans le temps de la réduction des émissions, des modes de consommation, de la disponibilité des ressources et des technologies et du choix de moyens d'action. Le coût du programme de réduction va dépendre du taux de remplacement des investissements, du taux d'actualisation et des résultats des activités de recherche-développement. Si une politique d'incitation à des investissements de remplacement efficaces à la fin de la durée de vie utile des installations et du matériel (c'est-à-dire au moment du renouvellement de ces investissements) n'est pas adoptée aussi rapidement que possible, la société devra payer le prix économique de cette inaction. La réduction des émissions à un rythme compatible avec le cours de la rotation normale des investissements est vraisemblablement plus économique qu'une réforme prématurée faite dès maintenant. Le choix d'un échelonnement dans le temps des réductions suppose donc la mise en balance des risques économiques d'une réduction rapide dès maintenant et des risques d'une tempora-



tion. Les mesures d'atténuation conçues de façon à bénéficier d'autres avantages pour l'environnement pourraient être économiques et favoriser un développement durable. Les transferts d'activités polluantes conduisant à une augmentation des émissions mondiales de gaz à effet de serre peuvent être réduites grâce à une action coordonnée entre groupes de pays.

**7.7** S'il existe très peu d'analyses du coût de stabilisation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, la littérature fournit certaines estimations quant au coût de la réduction des émissions à divers niveaux. Les évaluations du coût de l'atténuation sont très variables et dépendent du choix des méthodes, des hypothèses de base, des scénarios concernant les émissions, des moyens d'intervention, de l'année considérée, etc.

**7.8** Malgré de vastes différences d'opinions, il y a accord quant à la possibilité d'obtenir des gains d'efficacité permettant de descendre jusqu'à 10 à 30% au-dessous de l'évolution naturelle au cours des 20 à 30 prochaines années pour un coût net négatif ou nul. Sur un plus long terme, qui permet un remplacement plus complet des investissements et qui donne aux activités en matière de recherche, de développement et de démonstration et aux politiques de transformation du marché l'occasion d'affecter plusieurs cycles de remplacement, le potentiel est nettement plus élevé. Le potentiel d'une telle politique "sans regrets" dépend des imperfections du marché ou des institutions qui s'opposent à la mise en place de mesures économiques de réduction des émissions. Dans ces conditions, la question essentielle est de savoir dans quelle mesure de tels obstacles ou imperfections peuvent être surmontés de façon économique par des moyens d'intervention.

**7.9 Pays de l'OCDE.** Bien qu'il soit difficile de généraliser, les analyses descendantes<sup>19</sup> indiquent que le coût de réductions substantielles permettant de ramener le taux d'émission de CO<sub>2</sub> audessous du niveau de 1990 pourrait atteindre plusieurs points de pourcentage du PIB. Dans le cas précis d'une stabilisation des émissions au niveau de 1990, la plupart des études aboutissent à une estimation du coût annuel comprise entre -0,5% du PIB (ce qui équivaldrait à un gain total d'environ 60 milliards de dollars pour les pays de l'OCDE, au niveau actuel du PIB) et +2%

du PIB (ce qui équivaldrait à une perte d'environ 240 milliards de dollars) pendant les prochaines décennies. Ces études indiquent également qu'un choix convenable du calendrier d'application des mesures et la disponibilité de solutions de remplacement à bas prix pourraient réduire sensiblement la facture globale. Certaines études ascendantes indiquent que le coût d'une réduction de 20% des émissions dans les pays développés d'ici 20 ou 30 ans est négligeable ou même négatif. Selon d'autres études ascendantes, il existe des possibilités de réduction absolue dépassant les 50% à long terme, sans augmenter et peut-être même en réduisant le coût total pour la filière énergétique.

**7.10 Pays à économie en transition.** Les possibilités de réduction économique de la consommation d'énergie pourraient être considérables, mais leur concrétisation va dépendre de la voie de développement économique et technologique choisie ainsi que des capitaux disponibles pour suivre diverses voies. Dans ces pays, les évolutions de structure à venir susceptibles de modifier radicalement le niveau des émissions de base et le coût de la réduction de ces émissions constituent une question essentielle.

**7.11 Pays en voie de développement.** Selon les analyses effectuées, les pays en voie de développement auraient des possibilités considérables de réduire à bas prix les émissions de dioxyde de carbone dues aux combustibles fossiles. Les voies de développement qui augmentent le rendement énergétique, encouragent les techniques faisant appel à des sources d'énergie de substitution, réduisent le déboisement et favorisent la productivité agricole et la production d'énergie à partir de la biomasse peuvent être bénéfiques sur le plan économique. Le choix d'une telle voie pourrait exiger une étroite collaboration internationale ainsi que des transferts financiers et technologiques. Cela risque cependant de ne pas être suffisant pour équilibrer l'augmentation rapide du niveau naturel des émissions, sous l'influence de l'accélération de la croissance économique et de l'accroissement global de la prospérité. La stabilisation des émissions de dioxyde de carbone risque donc d'être coûteuse.

**7.12** Le coût estimatif de diverses techniques d'atténuation des émissions et d'accroissement des puits de

gaz à effet de serre est très variable et dépend de caractéristiques propres aux sites. Il en va ainsi des techniques faisant appel à des sources d'énergie renouvelables, par exemple, ainsi que des mesures de fixation du carbone. La fixation dans les forêts, pourrait compenser chaque année, au cours des 50 prochaines années, jusqu'à 15 à 30% des émissions mondiales liées à l'énergie en 1990. Le coût de fixation du carbone, qui est compétitif par rapport aux techniques de limitation à la source, est différent selon les régions du monde.

**7.13** La lutte contre les émissions d'autres gaz à effet de serre, notamment le méthane et l'oxyde nitreux, pourrait être très économique dans certains pays. Il est possible, en faisant appel aux possibilités d'atténuation existantes, de réduire de 10% environ, pour un coût négatif ou faible, les émissions anthropiques de méthane provenant de sources telles que les réseaux de distribution de gaz naturel, les mines de charbon, les décharges et les exploitations agricoles. Le coût de certaines de ces mesures diffère selon les pays et les régions.

### **Subventions, obstacles et imperfections du marché**

**7.14** L'économie mondiale et diverses économies nationales souffrent de distorsions dans la structure des prix qui entraînent une augmentation des gaz à effet de serre : certaines subventions accordées à l'agriculture ou aux carburants et certaines distorsions dans le prix des transports, par exemple. Plusieurs études de la question indiquent que l'élimination des subventions accordées pour les carburants permettrait de réduire les émissions de 4 à 18% sur le plan mondial et d'accroître le revenu réel.

**7.15** Dans divers pays, on a réussi à réduire de façon économique les obstacles institutionnels et les imperfections du marché grâce à des moyens d'intervention reposant sur des accords librement conclus, des mesures d'incitation au rendement énergétique, des normes relatives à l'efficacité des produits et des programmes de promotion de l'efficacité énergétique impliquant les industriels ainsi que sur des réformes réglementaires des services publics. Nombre des évaluations empiriques réalisées ont abouti à la

conclusion que le rapport coûts/bénéfices de l'accroissement du rendement énergétique est favorable, ce qui semble indiquer la possibilité de mettre en œuvre des politiques "sans regrets", à coût net négatif.

### **Valeur de l'information et de la recherche**

**7.16** L'amélioration de l'information concernant les processus et les incidences des changements climatiques et les solutions envisageables face à ces changements pourrait avoir une valeur considérable. L'analyse des problèmes économiques et sociaux liés à l'évolution du climat, surtout dans les pays en voie de développement, constitue une priorité élevée en matière de recherche. Il convient d'analyser de façon plus approfondie les incidences des diverses réponses envisageables sur l'emploi, l'inflation, le commerce, la compétitivité et d'autres questions d'intérêt public.

## **8. Les perspectives d'avenir**

**8.1** Les ouvrages publiés dans les domaines scientifique, technique, économique et social proposent des moyens de tendre vers l'objectif ultime de la Convention. Les moyens d'action envisageables sont l'atténuation des changements climatiques grâce à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à l'accroissement de leur élimination par les puits, l'adaptation aux changements climatiques observés et/ou prévus et certaines activités en matière de recherche, de développement et de démonstration en vue d'améliorer nos connaissances concernant les risques que comporte l'évolution du climat et les réponses possibles.

**8.2** Il reste des incertitudes sur ce qu'il est utile de connaître pour juger de ce qui constitue une perturbation anthropique dangereuse du système climatique et des mesures à prendre pour éviter de telles perturbations. La littérature indique cependant qu'il existe dans la plupart des pays de vastes possibilités de mesures "sans regrets" et que le risque de dommages nets dus à l'évolution du climat, la répugnance pour le risque et le principe de précaution justifient des mesures allant au-delà d'une politique "sans regrets". Le problème n'est pas de définir aujourd'hui la

meilleure politique pour les 100 ans à venir, mais de choisir une stratégie prudente et de l'adapter ultérieurement en fonction des nouvelles informations disponibles.

**8.3** Selon la littérature, des politiques souples et d'un bon rapport coût/efficacité reposant sur des incitations et des instruments économiques ainsi que sur des instruments coordonnés peuvent conduire à une réduction considérable des coûts d'atténuation et d'adaptation ou à un meilleur rapport coût/efficacité des mesures de réduction des émissions. Des signaux appropriés à long terme sont nécessaires pour permettre aux producteurs et aux consommateurs de s'adapter à moindre coût aux contraintes de l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre et pour stimuler l'investissement, la recherche, le développement et la démonstration.

**8.4** Nombre de politiques et de mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre, à accroître les puits de ces gaz et, à terme, à en stabiliser la concentration dans l'atmosphère offriraient de

vastes possibilités et des défis aux secteurs privé et public. Un ensemble soigneusement choisi de mesures de portée nationale et internationale visant à atténuer l'évolution du climat, à s'y adapter et à améliorer nos connaissances est susceptible de réduire les risques que comporte cette évolution pour les écosystèmes, la sécurité alimentaire, les ressources en eau, la santé humaine et les autres systèmes naturels et socio-économiques. Le coût de la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de l'accroissement des puits de ces gaz est très variable selon les pays en fonction de leur développement économique, de leurs choix en matière d'infrastructure et des ressources naturelles dont ils disposent. Une collaboration internationale dans le cadre d'accords bilatéraux, régionaux ou internationaux permettrait de réduire sensiblement le coût global de la réduction des émissions et les transferts d'émissions. Une mise en œuvre soignée de telles mesures aiderait à répondre au défi posé par les changements climatiques et améliorerait les perspectives d'un développement économique durable pour l'ensemble des peuples et des nations. ■

## Notes

- 1 La vulnérabilité d'un système définit la mesure dans laquelle l'évolution du climat risque d'endommager ce système ou de lui nuire. Elle dépend non seulement de la sensibilité du système, mais aussi de sa capacité d'adaptation à de nouvelles conditions climatiques.
- 2 Le Koweït se déclare en désaccord avec le fait de citer uniquement le paragraphe 3.3 de l'article 3 et non l'article dans son intégralité.
- 3 ppmv = parties par million en volume; ppbv = parties par milliard en volume. Les chiffres cités sont valables pour 1992.
- 4 Voir le tableau 1 dans le Résumé à l'intention des décideurs publié par le Groupe de travail II du GIEC.
- 5 On obtient la masse de dioxyde de carbone en multipliant le nombre de GtC (gigatonnes ou milliards de tonnes de carbone) par 3,67.
- 6 Un téragramme (Tg) est égal à  $10^{12}$  grammes.
- 7 Dans les rapports du GIEC, la sensibilité du climat désigne généralement la variation à long terme (du point d'équilibre) de la température moyenne globale à la surface, à la suite d'un doublement de la concentration équivalente de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère. De façon plus générale, elle désigne la variation du point d'équilibre de la température de l'air à la surface à la suite de la variation d'une unité du forçage radiatif ( $^{\circ}\text{C}/\text{Wm}^{-2}$ ).
- 8 La notion de concentration équivalente de  $\text{CO}_2$  est expliquée au paragraphe 4.17.
- 9 Contrairement aux hydrocarbures partiellement fluorés (HFC) et aux hydrocarbures perfluorés (PFC), la plupart des hydrocarbures halogénés sont régis par le Protocole de Montréal et par les amendements et ajustements qui lui ont été apportés.
- 10 Dans le reste de la section 4, les "émissions mondiales nettes d'origine humaine" (c'est-à-dire les sources anthropiques moins les puits anthropiques) seront désignées simplement par le terme "émissions".
- 11 Ces chiffres ne tiennent pas compte de l'augmentation de la température (de 0,1 à 0,7  $^{\circ}\text{C}$ ) qui se produirait après 1990 en raison des émissions de  $\text{CO}_2$  antérieures à 1990.
- 12 La Chine se déclare en désaccord avec le calcul des émissions de dioxyde de carbone par habitant ou par unité d'activité économique.
- 13 Le GIEC convient que ce paragraphe ne préjuge pas des négociations menées actuellement aux termes de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

- 14 Le GIEC convient que ce paragraphe ne préjuge pas des négociations menées actuellement aux termes de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.
- 15 Dans le calcul des émissions par unité d'activité économique, on n'a pris en considération ni les émissions dues à la modification de l'occupation des sols ni les ajustements effectués pour tenir compte de l'économie parallèle.
- 16 Un coût négatif correspond à un bénéfice économique.
- 17 Dans le langage courant, le mot équité désigne la qualité "de ce qui est impartial" ou "de ce qui est loyal et juste".
- 18 Les mesures "sans regrets" sont celles dont les avantages, tels que les économies d'énergie et la réduction de la pollution sur le plan local ou régional, sont au moins égaux à leur prix pour la société, indépendamment des avantages apportés par l'atténuation des incidences de l'évolution du climat. On les appelle parfois mesures "utiles en tout état de cause".
- 19 On trouvera une définition des modèles descendants et ascendants dans l'encadré 1 du Résumé à l'intention des décideurs publié par le Groupe de travail III du GIEC.

## Equipe de rédaction du document de synthèse

Bert Bolin (président du GIEC et chef de l'équipe de rédaction); John T. Houghton; Gylvan Meira Filho; Robert T. Watson; M. C. Zinyowera; James Bruce; Hoesung Lee; Bruce Callander; Richard Moss; Erik Haites; Roberto Acosta Moreno; Tariq Banuri; Zhou Dadi; Bronson Gardner; José Goldemberg; Jean-Charles Hourcade; Michael Jefferson; Jerry Melillo; Irving Mintzer; Richard Odingo; Martin Parry; Martha Perdomo; Cornelia Quennet-Thielen; Pier Vellinga; Narasimhan Sundararaman (secrétaire du GIEC).

## Bibliographie

1. IPCC, 1990:
  - (i) Climate Change, The IPCC Scientific Assessment
  - (ii) Climate Change, The IPCC Impacts Assessment
  - (iii) Climate Change, The IPCC Response Strategies
  - (iv) Overview and Policymakers Summary
2. IPCC, 1992:
  - (i) Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment
  - (ii) Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Impacts Assessment
3. IPCC, 1994: Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios
4. IPCC, 1995:
  - (i) Climate Change 1995, The IPCC Second Assessment Synthesis of Scientific-Technical Information Relevant to Interpreting Article 2 of the UN Framework Convention on Climate Change
  - (ii) Climate Change 1995, The Science of Climate Change
  - (iii) Climate Change 1995, Scientific-Technical Analyses of Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change
  - (iv) Climate Change 1995, The Economic and Social Dimensions of Climate Change

# L'ASSOCIATION GLOBAL CHANCE

GLOBAL CHANCE est une association de scientifiques qui s'est donné pour objectif de tirer parti de la prise de conscience des menaces qui pèsent sur l'environnement global (« global change ») pour promouvoir les chances d'un développement mondial équilibré.

La situation actuelle comporte des risques de voir se développer des comportements contraires à cet objectif :

- comportement fataliste, privilégiant le développement de la consommation sans prendre en compte l'environnement,
- comportement d'exclusion des pays du Sud du développement pour préserver le mode de vie occidental,
- comportement d'intégrisme écologique, sacrifiant l'homme à la nature,
- comportement de fuite en avant technologique porteuse de nouvelles nuisances et de nature à renforcer les rapports de domination Nord-Sud.

Mais la prise de conscience de ces menaces sur l'environnement global peut aussi fournir la chance d'impulser de nouvelles solidarités et de nouvelles actions pour un développement durable.

Pour GLOBAL CHANCE, un tel développement suppose :

- Le développement réel de l'ensemble des pays du monde dans une perspective humaniste,
- Le choix d'une méthode démocratique comme principe supérieur d'action,
- Le retour à un équilibre avec la nature, certes différent de celui que nous connaissons aujourd'hui, mais qui n'apparaisse pas comme incompatible avec le développement humain.

Ce retour à l'équilibre prendra du temps. Mais après une phase transitoire d'adaptation une telle condition implique de tendre :

- vers des prélèvements globaux mineurs et décroissants de ressources non renouvelables,
- vers des rejets nuls ou mineurs d'éléments non recyclables (sur des durées de l'ordre de quelques générations) dans les processus de la nature.

Après discussion interne au sein de l'association, GLOBAL CHANCE se propose de mettre les compétences scientifiques de ses membres au service :

- d'une expertise publique multiple et contradictoire,
- de l'identification et de la promotion de réponses collectives nouvelles et positives aux menaces de changement global,

dans les domaines scientifique et technique, économique et financier, politique et réglementaire, social et culturel, dans un esprit de solidarité Nord Sud, d'humanisme et de démocratie.