



**DÉCIDER DANS UN CLIMAT D'INCERTITUDE :
LA SCIENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

Tim Williams
Division des sciences et de la technologie

Le 15 novembre 2001
Révisé le 26 septembre 2002

**PARLIAMENTARY RESEARCH BRANCH
DIRECTION DE LA RECHERCHE PARLEMENTAIRE**

La Direction de la recherche parlementaire de la Bibliothèque du Parlement travaille exclusivement pour le Parlement, effectuant des recherches et fournissant des informations aux parlementaires et aux comités du Sénat et de la Chambre des communes. Entre autres services non partisans, elle assure la rédaction de rapports, de documents de travail et de bulletins d'actualité. Les attachés de recherche peuvent en outre donner des consultations dans leurs domaines de compétence.

**THIS DOCUMENT IS ALSO
PUBLISHED IN ENGLISH**

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CONTEXTE	2
A. Les facteurs qui influent sur le climat.....	2
1. Les variations orbitales de la Terre : la théorie de Milankovitch	2
2. L'effet de serre.....	2
3. Le rayonnement solaire.....	3
4. Les aérosols.....	3
5. L'albédo	4
6. La variabilité interne	4
LA TERRE QUI SE RÉCHAUFFE	5
A. Mesures des températures en surface.....	5
1. L'effet d'îlot thermique urbain	6
B. Mesures des températures par ballon et par satellite	6
C. Satellites et thermomètres.....	7
D. Autres moyens de mesure des températures en surface.....	7
1. Les carottages.....	7
2. Les océans.....	8
3. Les glaciers	8
4. Les indicateurs biologiques.....	9
E. Sommaire	9
POURQUOI S'INQUIÉTER DU DIOXYDE DE CARBONE?.....	10
A. Les paléoclimats.....	10
1. Les carottes de glace	10
2. Les foraminifères	11
B. Le dioxyde de carbone et l'effet de serre.....	12
1. Tendances des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone.....	12
2. CO ₂ et température : un lien à établir.....	13
3. Les modèles informatiques	13
4. Autres GES	14
C. Sommaire	14

L'AVENIR.....	15
A. Les émissions.....	16
B. Les puits.....	16
C. Les modèles de circulation générale.....	17
D. Sommaire.....	18
DÉCIDER DANS UN CLIMAT D'INCERTITUDE.....	18
A. Réduction des émissions.....	18
B. Adaptation au changement climatique.....	20
CONCLUSION.....	21



CANADA

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

DÉCIDER DANS UN CLIMAT D'INCERTITUDE : LA SCIENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

INTRODUCTION

Souvent, l'examen des questions environnementales d'un point de vue politique est fortement biaisé et sans nuances et met en opposition les intérêts de divers secteurs de la société. Dans un contexte où la politique compte pour beaucoup, les résultats des études scientifiques servent souvent de munitions dans une guerre pour la conquête de l'opinion publique. La question des changements climatiques est un bon exemple du phénomène de l'assujettissement de la science à des fins politiques. Elle est aussi un bon exemple d'une situation dans laquelle la science ne peut répondre à toutes les questions.

La science du climat repose essentiellement sur l'observation. Comme il n'existe qu'une seule planète Terre, il est impossible de mener des expériences dans des conditions dirigées où l'on peut manipuler un élément plutôt qu'un autre, comme on le fait habituellement pour contrôler une hypothèse. Pour tenter de comprendre le climat de la Terre, les scientifiques doivent donc poser une hypothèse, puis voir si la reproduction des conditions climatiques passées – à court ou à long terme – infirment ou confirment cette hypothèse. Pour cela, il leur faut souvent recourir à des modèles informatiques, qui cherchent à reproduire les processus climatiques tels que nous les comprenons. Ces modèles servent ensuite à prédire le changement climatique. Or, puisque nos reconstitutions des régimes climatiques passés, nos modèles informatiques et nos estimations de la composition future de l'atmosphère sont loin d'être parfaits, le débat politique sur les changements climatiques continuera vraisemblablement de s'alimenter d'incertitude, dans un contexte où l'on se basera sur une étude ou une autre pour appuyer ou contrer un point de vue ou un autre. Sans compter que l'étude des changements climatiques est très compliquée, ce qui n'arrange pas les choses.

Cela dit, un certain nombre de constatations des scientifiques qui étudient le climat et l'effet de serre semblent indiquer qu'il y a vraiment lieu de s'inquiéter de l'augmentation de cet effet. Nous examinerons ici certains des moyens scientifiques utilisés pour comprendre les

changements climatiques ainsi que certaines des principales conclusions tirées des recherches effectuées dans ce domaine.

CONTEXTE

A. Les facteurs qui influent sur le climat

1. Les variations orbitales de la Terre : la théorie de Milankovitch

Ni la rotation de la Terre autour du Soleil ni l'axe de rotation de la Terre sur elle-même ne sont immuables lorsqu'on les considère sur une très longue période. L'angle de l'axe de rotation oscille entre 22 et 25 degrés selon un cycle de 41 000 ans, la période où l'angle est le plus petit étant caractérisée par des étés frais et des hivers doux. Le moment de l'année où la Terre est le plus proche du Soleil dans son orbite elliptique change à l'intérieur d'un cycle de 22 000 ans. Lorsque ce moment est en juillet, les saisons sont plus marquées. La forme de l'orbite elliptique, elle, change à l'intérieur de cycles de 100 000 et de 400 000 ans; elle détermine l'importance des variations orbitales dans le temps. La théorie de Milankovitch attribue la succession des âges glaciaires et interglaciaires à ces variations orbitales. Lorsque l'angle de l'axe de rotation est faible, c'est en janvier que la Terre est le plus proche du Soleil et l'ellipse est moins ronde; dans cette configuration, les étés dans l'hémisphère nord sont plus frais et favorisent l'accumulation de neige. Selon la théorie de Milankovitch, la quantité moyenne de lumière solaire reçue par la Terre dans l'hémisphère nord (en particulier au nord du 65^e parallèle) devrait augmenter progressivement pendant les 25 000 prochaines années et il ne devrait pas y avoir de combinaison de variations orbitales amorçant un âge glaciaire avant 100 000 ans. Il semble que les variations d'excentricité de l'orbite de la Terre soient la principale cause des glaciations. Toutefois, les variations de l'apport d'énergie qui en résultent sont faibles et doivent être amplifiées pour que la température baisse suffisamment; on a conjecturé que les rétroactions associées à la réflectance des calottes glaciaires et au CO₂ atmosphérique contribueraient à amplifier ces apports.

2. L'effet de serre

L'énergie solaire est absorbée par la surface de la Terre et transformée en chaleur, qui est réfléchiée vers l'espace par rayonnement. L'absorption d'une partie de cette chaleur par

les gaz présents dans l'atmosphère fait en sorte que la température moyenne y est supérieure d'environ 33 °C à ce qu'elle serait en l'absence de ces gaz. C'est cette absorption de chaleur par l'atmosphère qu'on appelle effet de serre, sans lequel il ne pourrait y avoir de vie humaine sur notre planète. Le principal gaz à effet de serre (GES) est la vapeur d'eau qui, bien que sa concentration soit très variable, représente environ 3 p. 100 du volume de l'atmosphère; selon des estimations, elle serait à l'origine des deux tiers de l'effet de serre dans la basse atmosphère, appelée troposphère. Environ 25 p. 100 sont attribuables essentiellement au dioxyde de carbone (CO₂). Le méthane et l'oxyde nitreux sont aussi d'importants GES. L'incidence des variations des concentrations de dioxyde de carbone sur l'effet de serre serait amplifiée par les rétroactions sur la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère. Ainsi, un léger réchauffement de l'atmosphère causé par une hausse des concentrations de CO₂ pourrait accroître l'évaporation et, donc, la quantité de vapeur d'eau, ce qui accentuerait le réchauffement. On croit que l'activité humaine augmente l'effet de serre, ce qui entraînerait une hausse des températures atmosphériques supérieure à celle qui se produirait naturellement.

3. Le rayonnement solaire

La quantité d'énergie dégagée par le Soleil varie dans le temps et pourrait donc exercer une influence sur le climat. Cela n'a cependant pu être confirmé que grâce à la technologie des satellites. On a pu ainsi établir un lien entre le cycle de l'activité solaire, qui s'échelonne sur onze ans, et le changement de température, en particulier dans la haute atmosphère, mais seulement après que le traitement des signaux satellite eut permis d'écarter les effets de phénomènes importants, comme l'éruption du mont Pinatubo. En outre, la prise en compte de l'incidence de l'activité humaine et volcanique a permis de conclure à des variations semblables de la température en surface au cours du dernier siècle. Enfin, des hypothèses ont été formulées concernant une réduction de la production solaire et l'épisode du petit âge glaciaire, un épisode froid compris entre 1645 et 1715 environ.

4. Les aérosols

La plupart des aérosols, c'est-à-dire des fines particules ou gouttelettes, tendent à réfléchir la lumière du Soleil dans l'espace et ainsi à produire un refroidissement. C'est ce qu'on a constaté à la suite de l'augmentation des quantités d'aérosols dans l'atmosphère attribuable à l'éruption du Pinatubo dans les années 1990. Toutefois, les aérosols de teinte sombre, comme la

suie, tendent à absorber la lumière et à la transformer en chaleur et, donc, à réchauffer l'atmosphère. Le brûlage des combustibles fossiles peut produire des aérosols des deux types. Les modèles informatiques utilisés pour simuler les conditions climatiques avaient tendance à surestimer la hausse de température due à l'accumulation de GES jusqu'à ce qu'on tienne compte des aérosols à effet de refroidissement.

5. L'albédo

L'albédo de la Terre est essentiellement la quantité de lumière que la planète réfléchit dans l'espace. Les surfaces terrestres très claires, comme la neige et les nuages blancs, augmentent l'albédo et réduisent donc la production de chaleur, alors que les surfaces sombres, comme les forêts de conifères et les zones d'eau libre, ont tendance à absorber la lumière et à la transformer en chaleur. L'albédo peut créer de nombreuses boucles de rétroaction. Ainsi, moins la surface glacée est étendue, moins il y a d'énergie réfléchie et plus il y a de chaleur produite, ce qui réduit davantage la surface glacée. L'interaction entre l'atmosphère qui se réchauffe et sa capacité de retenir de l'eau et de former des nuages (et donc d'accroître l'albédo ou l'absorption de chaleur, ou les deux) est une des rétroactions les moins bien connues lorsqu'il s'agit de prévoir le climat. De plus, l'albédo complique l'analyse de la couverture forestière. En théorie, le réchauffement de la planète peut favoriser l'expansion des forêts septentrionales et partant la séquestration d'une plus grande quantité de CO₂, mais les parties sombres de ces forêts peuvent convertir une plus grande quantité de lumière en chaleur, en particulier l'hiver.

6. La variabilité interne

Les facteurs « externes » dont il vient d'être question peuvent induire une variation naturelle du climat terrestre sur une longue période. Or, des variations « internes » du climat de la Terre peuvent aussi entrer en jeu. Ces variations peuvent être attribuables, par exemple, à la façon dont les transferts de chaleur s'opèrent autour du globe. C'est ce qu'on appelle la variabilité interne, qui comprend des changements épisodiques de la circulation océanique et atmosphérique tels que le phénomène El Niño-Oscillation australe (ENSO) et l'oscillation nord-atlantique (NAO).

LA TERRE QUI SE RÉCHAUFFE

A. Mesures des températures en surface

Depuis plus de 150 ans, on mesure la température à la surface de la Terre à l'aide de différentes sortes de thermomètres. Il n'est pas facile d'extrapoler les mesures ponctuelles pour établir des moyennes planétaires. Sans compter que, plus on recule dans le temps, plus la masse de données historiques s'amenuise. Pour estimer les moyennes à l'échelle du globe, il faut produire des cartes quadrillées relativement complexes, puis interpoler les valeurs sur des grilles vierges et les soumettre à une quelconque pondération. Différentes méthodes d'extrapolation de mesures ponctuelles à des moyennes planétaires ont cependant donné des résultats très comparables⁽¹⁾.

Selon les registres des mesures de température à la surface terrestre, il s'est produit deux épisodes de réchauffement durant le dernier siècle : le premier de 1900 à 1945 et le second de 1976 à 2000 avec, entre les deux, un intervalle de léger refroidissement. Dans l'ensemble, la température moyenne de la Terre a augmenté de 0,6 ($\pm 0,2$) °C au cours des cent dernières années. Cette moyenne n'est cependant pas très révélatrice, car la situation a varié d'une région du globe à l'autre. Ainsi, durant cette période, la température moyenne est demeurée inchangée dans certaines parties de l'est des États-Unis alors qu'elle a connu une hausse de 0,4 à 0,6 °C par décennie dans le nord-ouest du Canada et les pays scandinaves. De même, une tendance se dessine, à savoir que la hausse des températures en surface est plus rapide sur terre que sur les océans. Qui plus est, au cours des 50 dernières années, sur les continents, la température minimale quotidienne moyenne a augmenté à peu près deux fois plus vite que la température maximale quotidienne moyenne. Durant le jour, le brassage atmosphérique est plus prononcé que la nuit. Par conséquent, le plus grand réchauffement enregistré la nuit semble indiquer que la température à la surface a augmenté plus rapidement que celle de l'atmosphère dans son ensemble.

(1) Les sources suivantes fournissent de plus amples renseignements sur les mesures de température en surface, par satellite et par ballon.

- a) Sommaire technique du Groupe de travail I du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (en anglais seulement) : <http://www.ipcc.ch/pub/wg1TARtechsum.pdf>.
- b) Rapport du National Research Council des États-Unis intitulé *Reconciling Observations of Global Temperature Change*, National Academy Press, Washington (D.C.), janvier 2000 (en anglais seulement) : <http://books.nap.edu/books/0309068916/html/R1.html#pagetop>.

1. L'effet d'îlot thermique urbain

La contamination attribuable à l'effet d'îlot thermique urbain constitue une des limites le plus souvent évoquées des mesures de température en surface. Beaucoup de registres de mesure de ces températures portent sur des régions où l'utilisation du territoire a connu, au fil du temps, une importante évolution susceptible de réchauffer les zones terrestres environnantes. Certains ont donc laissé entendre que la tendance générale au réchauffement qui a été décelée est causée par ce phénomène et qu'il ne s'est pas produit de réchauffement en réalité. La comparaison des températures mesurées dans des centres urbains et des milieux ruraux semble indiquer que cet effet pourrait expliquer environ un dixième du réchauffement observé. Ajoutons qu'un réchauffement a également été observé au-dessus des océans, où l'effet d'îlot thermique urbain n'intervient évidemment pas.

B. Mesures des températures par ballon et par satellite

Depuis 1958, on lance des ballons équipés de thermomètres pour mesurer la température de l'air à différentes altitudes; toutefois, les mesures ainsi obtenues sont encore plus fragmentaires que les mesures de température en surface. Les tendances des températures mesurées par les ballons dans la troposphère concordent assez bien avec celles des températures en surface jusqu'en 1979 environ. Depuis, cependant, le taux d'augmentation des températures à la surface semble se maintenir à $1,5 (\pm 0,05) ^\circ\text{C}$ par décennie, alors que celui des températures troposphériques s'établit à $0,05 (\pm 0,1) ^\circ\text{C}$ par décennie, ce qui représente un important écart.

On mesure les températures dans la troposphère par satellite depuis 1979, à l'aide d'un instrument appelé sondeur hyperfréquences, qui mesure le rayonnement émis directement par la haute troposphère à environ 7 km d'altitude. La quantité de rayonnement électromagnétique détectée est directement proportionnelle à la température. Or, la température ainsi mesurée à cette altitude subit une certaine contamination à partir de la basse stratosphère, qui devrait se refroidir, et non se réchauffer, sous l'action du changement atmosphérique. Pour corriger cet effet, on prend deux mesures à différents angles, puis on effectue une soustraction, dont le résultat correspond à la température à quelque 4 km d'altitude. Malgré les corrections mathématiques qu'il faut leur apporter, les données recueillies par sondeur hyperfréquences sont très précises et concordent avec les données recueillies par ballon au cours des vingt dernières années.

C. Satellites et thermomètres

La différence entre les températures en surface et celles mesurées dans l'atmosphère par ballon et par satellite depuis vingt ans suscite beaucoup de débats. Certains sont d'avis que les seules mesures fiables de la température en surface sont celles qui sont prises dans les pays très développés, comme les États-Unis, et que toutes les autres mesures pourraient être biaisées par des erreurs d'étalonnage des instruments de mesure, par exemple. En rejetant les mesures de la température prises à la surface dans de vastes régions du globe pour la raison que les instruments qu'on y utilise pourraient être défectueux et en se basant ainsi sur des données incomplètes, ceux qui contestent l'idée d'un important réchauffement planétaire apportent de l'eau à leur moulin. En effet, les données retenues excluent notamment les mesures effectuées dans les régions septentrionales, là où, selon ces mesures, le réchauffement est supérieur à la moyenne.

L'écart qui existe entre la tendance des mesures en surface et celle des mesures troposphériques est également troublant parce que, selon l'état actuel des connaissances sur les processus atmosphériques, l'accroissement des émissions de GES devrait entraîner le réchauffement de la troposphère. Or si les mesures sont exactes dans les deux cas, cet écart pose un problème aux spécialistes qui cherchent à comprendre les processus atmosphériques. En général, on a tendance à reconnaître que cet écart existe bel et bien et à ne pas tenir pour inacceptables les données recueillies en surface tout simplement parce qu'elles ne concordent pas avec des mesures satellitaires effectuées sur une vingtaine d'années seulement. Cette opinion s'appuie en outre sur le fait que beaucoup d'autres moyens de mesurer les températures en surface, dont certains sont abordés ci-après, semblent corroborer l'existence de l'écart noté.

D. Autres moyens de mesure des températures en surface

1. Les carottages

Avec le temps, la chaleur à la surface du globe se diffuse dans le sol. Si l'on fore un trou à une profondeur de 10 m, on peut mesurer la température à différents niveaux et ainsi, grâce à des calculs basés sur les taux de diffusion de la chaleur dans le sol, établir l'historique des températures en surface par extrapolation. Une étude de ce genre, qui comportait l'examen de 358 carottes prélevées dans l'est de l'Amérique du Nord, le centre de l'Europe, le sud de

l'Afrique et l'Australie⁽²⁾, a révélé que les températures ont augmenté de 0,5 °C au cours des cent dernières années, ce qui concorde assez bien avec les mesures effectuées à la surface terrestre.

2. Les océans

Pendant nombre d'années, les climatologues étaient intrigués, car leurs modèles prévoient un réchauffement atmosphérique supérieur à celui que les mesures des températures indiquaient. Une étude basée sur des millions de mesures de la température des fonds océaniques effectuées sur 50 ans et dont les résultats ont été publiés en 2000 révèle que la couche supérieure de 300 m des océans s'est réchauffée de 0,31 °C sur cette période⁽³⁾. Ces résultats sont généralement considérés comme l'explication d'une partie au moins de l'écart. De plus, il est difficile de concevoir le réchauffement des océans sans qu'il y ait réchauffement de la surface du globe. Et ce réchauffement océanique explique en grande partie la hausse, mesurable, bien que faible, du niveau de la mer à l'échelle mondiale.

3. Les glaciers

En 1999, des scientifiques ont publié un article annonçant que la couche de glace recouvrant l'océan Arctique aux eaux profondes s'était amincie de 40 p. 100 en moins de trente ans⁽⁴⁾. Cette découverte a été montée en épingle comme preuve des effets spectaculaires du réchauffement planétaire. Il faut préciser cependant que les données qui ont mené à cette conclusion ont été recueillies en grande partie à un seul endroit et seulement à deux moments. Selon des études ultérieures, cet amincissement apparent résulterait vraisemblablement d'un mouvement plutôt que de la fonte des glaces, et une autre étude menée sous l'eau dans une région plus vaste mais d'une étendue tout de même limitée n'a pas permis de déceler un amincissement mesurable.

Par contre, des données satellitaires indiquent sans l'ombre d'un doute que la masse des glaces de l'Arctique a reculé d'environ 3 p. 100 par décennie entre 1978 et 1998. Qui plus est, durant cette période de vingt ans, la quantité de glace éternelle (qui survit au dégel

(2) Henry Pollack *et al.*, « Climate Change Record in Subsurface Temperatures: A Global Perspective », *Science*, vol. 282, 1998, p. 279.

(3) Sydney Levitus *et al.*, « Warming of the World Ocean », *Science*, vol. 287, 2000, p. 2225.

(4) D.A. Rothrock *et al.*, « Thinning of the Arctic sea-ice cover », *Geophysical Research Letters* 26, 1999, p. 3469.

estival) a diminué de 14 p. 100⁽⁵⁾. Bien qu'une partie de l'amincissement de la couche de glace ait pu être attribué à des changements dans le régime des vents dans l'Arctique, le reste serait le fruit du réchauffement planétaire⁽⁶⁾.

Des analyses de mesures par satellite effectuées dans le cadre du programme de mesure spatiale des glaces terrestres à l'échelle mondiale du U.S. Geological Survey montrent aussi que les glaciers perdent du terrain partout sur la planète. Des mesures effectuées par laser indiquent que les bords de l'inlandsis du Groenland reculent. C'est également le cas pour certains glaciers de l'Arctique. Selon les auteurs d'une étude menée au Canada et au Danemark en 2001, la réduction du volume de l'inlandsis du Groenland pourrait s'opérer plus rapidement que prévu⁽⁷⁾.

4. Les indicateurs biologiques

Des observations effectuées par satellite révèlent que la durée de la saison de croissance a augmenté de 18 jours en Eurasie et de 12 jours en Amérique du Nord entre 1981 et 1999. De plus, on a établi une relation entre la hausse des températures et l'expansion de la couverture végétale dans les régions où la croissance n'est pas limitée par le manque d'eau⁽⁸⁾. D'autres changements associés au réchauffement atmosphérique, tels que le moment de la ponte chez certaines espèces d'oiseaux, ont également été observés. Enfin, dans l'Arctique, les changements dans la couverture glacielle de certains systèmes aquatiques terrestres ont modifié considérablement la biologie des algues, par exemple.

E. Sommaire

La température moyenne de la Terre a augmenté d'environ 0,6 °C au cours des cent dernières années. Même si la hausse des températures dans la troposphère mesurée par satellite n'est pas identique à celle des températures en surface enregistrée au cours des vingt dernières années, cette dernière est confirmée par beaucoup d'autres sources de données. Le Groupe

(5) Ola Johannessen *et al.*, « Satellite Evidence for an Arctic Sea Ice Cover in Transformation », *Science*, vol. 286, 1999, p. 1937.

(6) Konstantin Vinnikov *et al.*, « Global Warming and Northern Hemisphere Sea Ice Extent », *Science*, vol. 286, 1999, p. 1934.

(7) W.S.B Paterson et Niels Reeh, « Thinning of the ice sheet in northwest Greenland over the past forty years », *Nature* 414, 2001, p. 60.

(8) L. Zhou *et al.*, « Variations in Northern Vegetation Activity Inferred from Satellite Data of Vegetation Index During 1981 to 1999 », *Journal of Geophysical Research*, 2001.

d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), après avoir comparé la hausse des températures avec des données indirectes sur les températures annuelles (provenant de l'examen des anneaux de croissance d'arbres, de carottes de glace et de coraux, par exemple), a conclu qu'il est certain dans une proportion de 66 à 90 p. 100 que la hausse de la température s'opère à une cadence et à une ampleur inégalées au cours du dernier millénaire. Même ceux qui voient l'effet de serre d'un œil sceptique commencent à admettre que la Terre se réchauffe.

POURQUOI S'INQUIÉTER DU DIOXYDE DE CARBONE?

Comme nous l'avons vu précédemment, de nombreux facteurs influent sur le climat, notamment le rayonnement solaire, les aérosols, les variations de l'orbite de la Terre autour du Soleil sur une longue période et les variations naturelles de l'effet de serre. Comme le dioxyde de carbone (CO₂) représente seulement 0,035 p. 100 de l'atmosphère, il pourrait sembler raisonnable de penser que cette proportion pourrait doubler, et même quadrupler, sans qu'il y ait lieu de s'inquiéter.

A. Les paléoclimats

1. Les carottes de glace

La neige qui s'accumule sur les vastes glaciers des pôles emprisonne l'air dans les espaces entre les flocons. Comme la majeure partie de cet air demeure intacte, on peut mesurer les concentrations de CO₂ dans l'air extrait des carottes prélevées dans les glaciers. L'eau qui forme la neige fournit également de l'information. Une de ces carottes, la carotte de glace de Vostok, permet de remonter sur 420 000 ans.

L'eau est constituée d'hydrogène et d'oxygène. L'hydrogène, comme la plupart des éléments chimiques, existe sous forme de divers isotopes. L'isotope d'hydrogène le plus courant a une masse atomique de 1, mais un petit pourcentage de l'hydrogène présent dans l'eau a une masse atomique de 2 (le deutérium). Quand l'eau s'évapore, les molécules légères s'évaporent plus facilement que les molécules lourdes, et ce, encore plus à mesure que la température baisse. En d'autres termes, l'eau présente dans l'air au-dessus de l'océan contient relativement plus d'hydrogène léger quand l'air est frais que lorsqu'il est chaud. Par conséquent, l'hydrogène contenu dans la neige formée à partir de cette eau qu'on retrouve dans les glaciers polaires constitue une sorte de paléothermomètre isotopique.

Dans le passé, on considérait qu'il y avait une corrélation très étroite entre le thermomètre isotopique et la concentration de CO₂, de sorte que beaucoup de gens estimaient qu'il y avait un lien étroit entre cette concentration et la température au cours des quelque 150 000 dernières années. Pourtant, d'importants écarts par rapport à ce profil ont été observés, ce qui a soulevé un doute relativement à l'exactitude de la corrélation. Toutefois, de nouvelles corrections apportées aux données tirées de la carotte de glace de Vostok pour tenir compte des variations climatiques dans la région où l'eau s'est évaporée ont révélé que cette corrélation est en réalité encore plus étroite qu'on le croyait. On a constaté qu'il existait un rapport étroit entre les concentrations de CO₂ et le thermomètre isotopique au cours des 150 000 dernières années. Du point de vue statistique, près de 90 p. 100 de la variation de la composition isotopique s'expliquent par des variations des concentrations de CO₂. La corrélation correspondante s'établit à 84 p. 100 pour la période comprise entre les 150 000 et les 350 000 dernières années. Du point de vue scientifique, l'existence d'une relation aussi étroite dans un système aussi complexe est remarquable et constitue une très forte indication de l'importance du dioxyde de carbone en tant que facteur déterminant le climat. Les résultats d'une étude menée en 2001 sur le nombre de pores dans des feuilles fossilisées, qui varie en fonction de la concentration de CO₂ pendant la croissance des plantes en cause, semblent indiquer qu'il existe un lien entre le CO₂ et la température depuis 300 millions d'années⁽⁹⁾.

2. Les foraminifères

Les foraminifères sont de petits organismes océaniques dont la cellule est entourée d'une capsule calcaire. D'une manière comparable aux changements subis par les isotopes d'hydrogène décrits précédemment, l'abondance relative d'isotopes d'oxygène dans les capsules est fonction des températures auxquelles celles-ci se sont formées. Puisque les foraminifères s'enfoncent dans les sédiments du fond lorsqu'ils meurent, on peut analyser des carottes de sédiments pour estimer ces températures.

Jusqu'à très récemment, le thermomètre isotopique constitué par les variations du rapport isotopique de l'oxygène observées chez des foraminifères inclinait à penser que les mers tropicales étaient beaucoup plus froides que les mers arctiques à l'époque où les concentrations atmosphériques de CO₂ étaient élevées. C'est en s'appuyant sur ce genre d'anomalie qu'on a

(9) Gregory J. Retellack, « A 300-million-year record of atmospheric carbon dioxide from fossil plant cuticles », *Nature* 411, 2001, p. 287.

mis en question le lien entre la teneur en CO₂ et la température de l'atmosphère. Toutefois, en poussant l'analyse, on s'est rendu compte que le rapport isotopique de l'oxygène chez les foraminifères était modifié par un phénomène appelé diagenèse⁽¹⁰⁾ qui n'a pas de relation avec les températures à la surface de la mer. L'analyse de foraminifères dont on sait, par un examen au microscope, qu'ils n'ont pas subi de diagenèse semble indiquer que l'écart entre la température et le thermomètre isotopique résulte en réalité de la diagenèse. S'il s'agit d'un phénomène généralisé, les données d'étude des foraminifères confirmeraient la corrélation entre les concentrations de CO₂ et la température.

Il s'est établi une corrélation remarquable sur une longue période entre les concentrations de CO₂ et la température, mais des indices portent à croire que cette corrélation a fléchi considérablement à certains moments dans le passé. Même s'il faudra pousser l'analyse pour contrôler ces anomalies, il ne faut pas s'étonner que d'autres facteurs soient entrés en ligne de compte. Par exemple, la position des continents il y a 500 millions d'années n'était pas la même que celle qu'on observe aujourd'hui. De plus, toute corrélation est statistique et ne permet pas de conclure à une relation de causalité : en fait, il est possible que ce soient les variations de température qui influent sur les concentrations de CO₂ plutôt que l'inverse, ou encore que les deux variables réagissent en même temps à l'influence d'un autre facteur. Cela dit, toutefois, il y a des raisons mécanistes de croire que les concentrations de CO₂ constituent un facteur primaire agissant sur le changement climatique.

B. Le dioxyde de carbone et l'effet de serre

1. Tendances des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone

Pendant au moins 800 ans avant 1800, la teneur en CO₂ de l'atmosphère s'est maintenue à 280 parties par million (ppm). En 1900, elle était d'environ 290 ppm et en 1950, de 300 ppm; cette teneur s'établit maintenant à quelque 370 ppm. Cette augmentation résulte du brûlage de combustibles fossiles et de modifications de l'utilisation des terres. Selon le GIEC, les concentrations atmosphériques de CO₂ mesurées actuellement n'ont jamais été aussi élevées en 420 000 ans et sont vraisemblablement exceptionnelles sur un horizon de 20 millions d'années.

(10) La diagenèse est un processus par lequel la capsule calcaire se corrode puis se recristallise. La recristallisation reflète non pas les températures en surface au niveau où la capsule s'est formée, mais celles, plus basses, de la subsurface sous-marine.

Ces concentrations n'ont pas augmenté de façon constante, et elles varient en fonction des quantités de CO₂ qui sont ajoutées à l'atmosphère et qui en sont retirées. Les variations des quantités absorbées par les masses terrestres et les océans font varier la vitesse nette d'augmentation des concentrations de CO₂. En réalité, près de la moitié des quantités totales estimées de CO₂ émises dans l'atmosphère par suite d'activités humaines a été absorbée par les forêts et les océans, sans qu'on sache toutefois pendant combien de temps ces quantités y demeureront.

2. CO₂ et température : un lien à établir

D'après la théorie de l'accentuation de l'effet de serre, la quantité supplémentaire de CO₂ présente dans l'atmosphère devrait capter davantage d'énergie et donc entraîner un réchauffement. Il est indéniable que la température en surface augmente mais, pour établir un lien entre les concentrations de CO₂ et le réchauffement, il faut démontrer qu'il y a augmentation de la quantité d'énergie captée. Une étude comportant la comparaison sur une longue période du rayonnement sortant émis de nouveau à partir de la Terre, tel que mesuré par satellite, a confirmé qu'une plus grande quantité d'énergie est séquestrée dans l'atmosphère à cause des variations des quantités de GES qui s'y trouvent. Le CO₂ absorbe l'énergie à certaines longueurs d'onde, et cette étude a révélé que la Terre émettait une plus grande quantité d'énergie à ces longueurs d'onde en 1970 qu'en 1997⁽¹¹⁾.

3. Les modèles informatiques

Les modèles informatiques dont les sorties s'appuient sur les mécanismes du changement climatique et qui ne sont pas tout simplement ajustés en fonction des données d'observation sont de plus en plus perfectionnés et en mesure de simuler les conditions climatiques passées. On peut s'en servir pour mieux comprendre l'influence de facteurs externes et internes sur le climat ainsi que pour distinguer les causes naturelles des causes anthropiques (résultant de l'activité humaine) des changements. Dans un de ces modèles, il a fallu prendre en compte des facteurs anthropiques pour la période 1963-1993 – pendant laquelle il s'est produit trois grandes éruptions volcaniques (qui ont refroidi l'atmosphère) – pour que les sorties cadrent avec les tendances des températures observées. Inversement, il a fallu intégrer au modèle non

(11) John Harries *et al.*, « Increases in Greenhouse Forcing Inferred from the Outgoing Longwave Radiation Spectra of the Earth in 1970 and 1997 », *Nature* 410, 15 mars 2001.

seulement des facteurs anthropiques mais aussi des facteurs naturels pour simuler le refroidissement qui s'est produit entre 1945 et 1965⁽¹²⁾.

4. Autres GES

D'autres GES, comme le méthane, l'oxyde nitreux et les halocarbures (hydrocarbures halogénés), contribuent à l'augmentation de l'effet de serre, ce qui a été confirmé lorsqu'on a constaté qu'ils réduisent la quantité de rayonnement sortant émis à partir de la Terre. En réalité, ces gaz captent beaucoup plus ce rayonnement que le CO₂, dont le temps de séjour dans l'atmosphère (environ 200 ans) est pourtant plus long que celui du méthane (environ 12 ans). Sur une période de cent ans, le méthane a une capacité de captage d'énergie 21 fois plus élevée, et l'oxyde nitreux, une capacité 310 fois plus élevée en poids, que celle du dioxyde de carbone. On estime que la libération massive de méthane à partir des océans aurait causé certains épisodes de réchauffement dans le passé, mais seulement après que ce méthane eut été converti en CO₂. Certains halocarbures, notamment le perfluorométhane, séjournent dans l'atmosphère pendant des dizaines de milliers d'années et pourraient de ce fait exercer encore longtemps une influence sur le climat.

Les concentrations de méthane et d'oxyde nitreux ont également augmenté par suite de l'activité humaine. Le GIEC estime qu'entre 1750 et 2000, le changement de la quantité d'énergie emprisonnée dans l'atmosphère à cause du méthane était environ le tiers de celui attribuable au CO₂. La hausse des concentrations de méthane semble avoir ralenti et, comme ce gaz ne séjourne que 12 ans dans l'atmosphère, il ne devrait pas susciter beaucoup d'inquiétude à long terme. La teneur de l'atmosphère en halocarbures diminue elle aussi depuis qu'on a adopté des règlements pour contrecarrer leur incidence néfaste sur la couche d'ozone. Le dioxyde de carbone constitue davantage une préoccupation à long terme, à cause des quantités qui pourraient se dégager du brûlage d'importants dépôts de combustibles fossiles.

C. Sommaire

Les données scientifiques indiquant que les émissions anthropiques de CO₂ contribuent au réchauffement planétaire sont convaincantes. Au cours des 420 000 dernières années, et probablement depuis plus longtemps, la corrélation entre la température du globe et les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone a été presque parfaite. La concentration

(12) Peter Stott, « External Control of 20th Century Temperature by Natural and Anthropogenic Forcings », *Science*, vol. 290, décembre 2000.

de dioxyde de carbone dans l'atmosphère augmente actuellement en raison de l'activité anthropique. Les températures à la surface de la Terre, y compris à la surface des océans, augmentent au diapason de cette concentration. Selon la théorie mécaniste, le dioxyde de carbone peut absorber le rayonnement sortant et, partant, faire monter les températures atmosphériques. Des observations par satellite ont confirmé que l'accroissement des quantités de dioxyde de carbone a réduit ce rayonnement.

L'AVENIR

En ce qui a trait aux changements climatiques, les médias s'attardent souvent sur les potentiels effets dévastateurs du réchauffement du globe, par exemple la hausse du niveau des mers et l'augmentation de la fréquence d'événements catastrophiques comme les sécheresses et les violentes tempêtes. Or, les dires des prophètes de malheur ne reposent pas nécessairement sur des bases solides et sont souvent fondés sur les hypothèses les plus pessimistes de changements climatiques.

D'un autre point de vue, on pourrait encourager fortement les gens à émettre du CO₂ pour accroître le volume de végétation terrestre simplement parce que les horticulteurs utilisent environ 1 000 ppm de CO₂ dans les serres pour favoriser la croissance des plantes. Les tenants d'une telle idée considèrent le CO₂ indépendamment de ses effets néfastes sur le climat, une hypothèse que même les plus sceptiques ont de plus en plus de mal à continuer de soutenir.

Cependant, pour planifier les mesures à prendre pour réduire les émissions, il faut prévoir les effets du changement climatique sur l'agriculture, le niveau des mers et les écosystèmes. Et c'est la prévision du changement climatique qui comporte le plus d'incertitude, car il s'agit d'estimer les futures concentrations atmosphériques de CO₂ et leur incidence sur le climat. Ces futures concentrations seront fonction de l'ampleur des émissions et des réactions du cycle biogéochimique du carbone à l'accroissement des concentrations de CO₂ et aux changements de climat. Enfin, le degré d'exactitude des estimations des effets du CO₂ atmosphérique sur le climat dépend de l'efficacité avec laquelle les modèles informatiques prévoient le changement climatique.

A. Les émissions

La prévision des émissions est étroitement liée aux estimations de la croissance économique et de la mesure dans laquelle celle-ci peut être dissociée des sources de carbone. Il faut, entre autres, estimer l'expansion démographique et poser des hypothèses sur le niveau de vie, l'efficacité de l'utilisation finale de l'énergie dégagée par le brûlage des combustibles fossiles et l'avènement de nouvelles technologies. Le GIEC a élaboré 35 scénarios relatifs aux émissions dont les « trames » vont d'une croissance économique majeure sans restrictions relatives au brûlage des combustibles à base de carbone jusqu'à des situations où les émissions sont réduites considérablement. Toutefois, le climat ne réagit pas aux émissions mais aux concentrations atmosphériques, qui dépendent du sort que connaît le CO₂ une fois dégagé.

B. Les puits

Actuellement, les scénarios du GIEC relatifs aux émissions ne tiennent pas compte des rétroactions du changement climatique sur le cycle biogéochimique du carbone, bien que des tentatives aient été faites pour intégrer ces rétroactions à des modèles du changement climatique. Comme il a été indiqué précédemment, près de la moitié du CO₂ émis dans l'atmosphère jusqu'à présent a été absorbée par les océans et les forêts, qui sont considérés comme des puits tant qu'on y décèle un mouvement net de CO₂. On ne connaît pas la capacité de ces puits; on ne sait pas non plus combien de temps ceux-ci demeureront des puits, mais il est probable que ce ne sera pas sur une longue période.

Du carbone emmagasiné pendant des millions d'années sous forme de combustibles fossiles a été libéré et s'est intégré à un cycle dont l'échelle temporelle se mesure en centaines d'années. Il semble que les forêts peuvent faire fonction de puits en raison d'une période de croissance plus longue, d'un rendement photosynthétique plus élevé et, surtout, du reboisement de terres agricoles abandonnées. L'augmentation des concentrations atmosphériques de CO₂ accroît le rendement de captation du CO₂ à l'intérieur de la photosynthèse et peut-être aussi le transfert de CO₂ vers les forêts. Des expériences menées durant de longues périodes dans des zones forestières soumises à une incubation en présence de fortes concentrations de CO₂ semblent indiquer que cet effet n'est qu'éphémère dans certains régimes forestiers. De plus, il est généralement reconnu que la respiration, et donc les émissions de CO₂ à partir des forêts, est directement proportionnelle à la température, mais probablement

dans une moindre mesure que ce que les expériences de courte durée en laboratoire laissent croire. Il faut dire aussi que la capacité totale de reboisement est limitée. Si l'ensemble des arbres abattus dans le passé pouvaient être replantés, les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère pourraient diminuer d'environ 50 ppm – un chiffre modeste en regard des concentrations auxquelles pourraient mener les taux actuels d'émission.

Les océans absorbent environ le quart des quantités de CO₂ libérées dans l'atmosphère mais, ici encore, la connaissance de la nature exacte des puits qu'ils constituent comporte de nombreuses inconnues. Le carbone peut être absorbé par des microorganismes qui s'enfoncent ensuite à grande profondeur ou il peut simplement se dissoudre et demeurer dans les couches supérieures jusqu'à ce qu'il gagne les régions polaires, où l'eau froide descend vers les couches profondes. On ne connaît pas la quantité de CO₂ qui gagne les grands fonds océaniques ni la quantité qui demeure emmagasinée à long terme dans des roches. Sans compter que plus les océans se réchauffent, plus leur capacité de dissoudre le CO₂ diminue.

La connaissance des puits et de la rétroaction du changement climatique sur ceux-ci est encore incomplète. Même si les puits ont contribué à réduire les concentrations de CO₂, on ne sait pas dans quelle mesure, et leur influence et sa durée sont probablement limitées. Il est cependant essentiel d'accroître cette connaissance pour prévoir quelles seront les concentrations atmosphériques de CO₂ au cours des cent prochaines années.

C. Les modèles de circulation générale

Pour simuler le climat de la Terre, les climatologues utilisent ce qu'ils appellent des modèles de circulation générale. La capacité qu'ont ces modèles de simuler les conditions climatiques passées s'est améliorée, et des progrès récents permettent d'estimer les différents taux d'augmentation de la température au-dessus des masses terrestres et des océans. Toutefois, ces modèles ne sont pas suffisamment perfectionnés pour prévoir les effets à l'échelle locale. Or, ce sont précisément ces effets qui comptent, en particulier pour la planification de l'adaptation au changement climatique. Pour citer un commentateur, disons que c'est dans les détails que tout se joue. Ainsi, il importe peu aux décideurs européens de savoir que la température moyenne du globe grimpera, si l'eau douce libérée par la fonte doit annuler l'influence du Gulf Stream et refroidir l'Europe, comme il semble que ce fut le cas dans le passé.

D. Sommaire

La capacité de prévoir les changements climatiques constitue donc le nœud du problème. Comme cela a été souligné, bien qu'on comprenne beaucoup mieux et avec plus de certitude les mécanismes du changement climatique maintenant qu'à l'époque de la parution du deuxième rapport du GIEC, la gamme du changement de température possible indiquée dans le troisième rapport, paru en février 2001, est encore plus étendue⁽¹³⁾. La compréhension des phénomènes a augmenté, mais l'incertitude aussi. Quelle sera l'ampleur générale du changement de la température du globe et quels effets ce changement entraînera-t-il à l'échelle locale? Il est encore relativement difficile de répondre à cette question. Certains ont émis l'opinion selon laquelle, dans l'ensemble, le changement climatique causé par les concentrations de CO₂ sera bénéfique. Mais l'incertitude est aussi grande dans un sens que dans l'autre, et il se peut que le changement climatique ait des effets dévastateurs, surtout à l'échelle locale. Dans ce contexte, le GIEC prône la prudence dans la politique à adopter relativement au CO₂.

DÉCIDER DANS UN CLIMAT D'INCERTITUDE

En ce qui a trait aux changements climatiques, les hommes et les femmes politiques doivent prendre des décisions difficiles en se basant sur des scénarios incertains, mais potentiellement alarmants, du climat futur, sur lequel l'être humain exerce une influence, du moins en partie. Diverses suggestions leur ont été faites pour les aider à élaborer une politique appropriée, du moins à court terme, qui intègre à la fois la réduction des émissions de GES et l'adaptation aux changements climatiques. À long terme, une telle politique devra sans l'ombre d'un doute prévoir l'intégration de sources d'énergie exemptes de carbone comme moyen de réduire les émissions de CO₂.

A. Réduction des émissions

Le Protocole de Kyoto représente le principal programme d'action visant la réduction des émissions. En 1992, plus de cent pays ont ratifié la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. En s'appuyant sur le premier rapport du GIEC, paru

(13) Richard Kerr, « Global Warming: Rising Global Temperature, Rising Uncertainty », *Science*, vol. 292, avril 2001, p. 192.

en 1990, les parties à la Convention-cadre ont établi que, malgré les incertitudes reconnues dont souffrent les prévisions, il fallait adopter une approche prudente et s'efforcer de stabiliser, au plus tard en 2000, les émissions de GES aux niveaux de 1990. En 1995, les parties se sont entendues pour travailler à l'élaboration d'une convention juridiquement contraignante. Deux ans plus tard, à la troisième rencontre de suivi des signataires de la Convention (la troisième Conférence des Parties (CdP-3)), tenue à Kyoto, les parties ont établi un protocole à la Convention-cadre dans le but de réduire les émissions moyennes de GES dans une proportion supplémentaire de 5,2 p. 100 entre 2008 et 2012.

Les événements qui ont suivi la signature du Protocole de Kyoto, en 1997, n'ont pas rendu la vie facile à ses promoteurs. Une des principales critiques formulées au sujet du Protocole était que sa capacité de réduire les émissions est limitée. Même si l'on parvient à réduire les émissions de 5,2 p. 100 par rapport aux niveaux de 1990, les concentrations de CO₂ continueront d'augmenter, bien qu'à un rythme légèrement réduit. De plus, ce n'est que récemment que les parties sont parvenues à s'entendre, après maints débats, sur les mécanismes à utiliser pour opérer les réductions visées. Le Canada a mis l'accent sur l'utilisation de ses forêts comme puits, tandis que la Communauté européenne a tenté de privilégier l'utilisation efficace de l'énergie. Par ailleurs, d'aucuns estiment qu'il coûterait trop cher de se conformer au Protocole. Durant l'hiver 2001, les États-Unis se sont retirés des négociations en arguant du coût élevé des mesures de réduction des émissions et du manque de participation des pays en développement. Les autres pays ont décidé de poursuivre les négociations, et l'entente politique conclue à Bonn en juillet 2001 a été libellée en termes pratiques à la CdP-7 tenue à Marrakech en novembre 2001.

Les coûts élevés ont servi d'argument aux opposants à la réduction des émissions, surtout que les prévisions des changements climatiques présentent encore énormément d'incertitude et que l'atteinte des objectifs fixés à Kyoto n'aura qu'un effet limité sur cette réduction. Toutefois, d'autres sont d'avis que si l'on incluait les coûts pour l'environnement et la santé du brûlage des combustibles fossiles (l'internalisation), la réduction des émissions de CO₂ procurerait en fait des avantages financiers⁽¹⁴⁾. On a déjà reconnu ces avantages dans des villes fortement polluées, en particulier en Chine, où l'on déploie de grands efforts pour utiliser des combustibles écologiques et réduire la consommation de charbon, dont la combustion produit une fumée qui étouffait pratiquement les villes dans le passé. Des négociations visant

(14) Luis Cifuentes *et al.*, « Climate Change: Hidden Health Benefits of Greenhouse Gas Mitigation », *Science*, vol. 293, 2001, p. 1221; Giulio De Leo *et al.*, « The Economic Benefits of the Kyoto Protocol », *Nature* 413, octobre 2001, p. 478.

l'adoption de mesures supplémentaires devraient commencer en 2005, car on reconnaît les limites du Protocole de Kyoto.

On a également fait valoir que, même si elle a des effets limités à long terme, la réduction des émissions de méthane, d'oxyde nitreux et d'halocarbures constituerait l'intervention initiale la plus facile et la plus efficace. Le méthane est libéré dans l'atmosphère principalement à partir des sources agricoles – tout comme l'oxyde nitreux –, mais aussi par suite de fuites à partir d'installations de gaz naturel et de sites d'enfouissement. Quant aux halocarbures, ils servent dans l'industrie de la réfrigération. Toutes ces substances absorbent beaucoup plus de chaleur par kilogramme que le CO₂, et il pourrait être plus facile et moins coûteux de modifier la gestion des déchets et de l'utilisation des terres ainsi que l'utilisation des halocarbures que de réduire les émissions de carbone résultant du brûlage des combustibles fossiles.

B. Adaptation au changement climatique

Devant l'incertitude des scientifiques au sujet du climat futur, et en supposant que notre capacité de réduire les émissions est limitée, du moins à court terme, certains ont fait valoir que des programmes d'adaptation au changement climatique seraient une solution plus facile à appliquer et qu'ils aideraient de toute façon à améliorer l'existence, même si ce changement ne se produisait pas⁽¹⁵⁾. Comme la population mondiale va croissant, les événements climatiques extrêmes auront de plus en plus de répercussions sur les activités humaines, et ce, même si leur fréquence demeure la même. En particulier dans les pays en développement, les mauvaises pratiques de gestion de l'utilisation des terres rendent les habitants encore plus vulnérables aux événements extrêmes. Pendant la période où il a stagné sur l'Amérique latine, l'ouragan Mitch a causé des dommages considérables, en partie parce que les terres, qui avaient fait l'objet d'un aménagement inadéquat, n'étaient pas en mesure d'en absorber les contrecoups. Ses effets sur les populations humaines auraient été grandement réduits si les terres avaient été soumises à un aménagement plus approprié et si les gens avaient quitté les régions vulnérables. Par ailleurs, l'amélioration des pratiques agricoles en vue d'emmagasiner davantage d'eau dans les sols permettrait une meilleure adaptation aux sécheresses. En Chine, après les dernières inondations dévastatrices, on a pratiquement interdit la coupe du bois et on a mis en œuvre des programmes de reboisement.

(15) David Sarewitz et Roger Pielke Jr., « Breaking the Global Warming Gridlock », *The Atlantic*, juillet 2000.

CONCLUSION

Il existe de fortes indications que les activités humaines réchauffent la planète en modifiant la composition de l'atmosphère, principalement par l'accroissement des concentrations de CO₂. Et les effets, bien qu'on ne puisse les prévoir avec certitude, pourraient être dévastateurs. Toutefois, on n'a pas réagi aussi efficacement qu'il le faudrait au changement climatique, qui a plutôt fait l'objet d'une guerre d'opinion dont les protagonistes se livrent la lutte à coups d'études scientifiques aux résultats contradictoires.

Le changement climatique est inévitable. Les dossiers historiques indiquent, par exemple, que les premiers colons européens sont arrivés dans les prairies nord-américaines à un très bon moment : le climat a été relativement humide et favorable à l'agriculture depuis 200 ans par comparaison aux 1 000 années qui ont précédé. Quelles que soient les prévisions de l'incidence des activités humaines sur l'environnement, l'adaptation au changement climatique éventuel est donc une ligne de conduite judicieuse.

Les coûts constituent un des aspects les plus préoccupants de la réduction des émissions. Toutefois, on peut certainement réduire les coûts si l'on met l'accent sur les stratégies de réduction ayant des retombées positives sur la santé et l'économie, par exemple l'accroissement du recours aux combustibles sans danger pour l'environnement et de l'efficacité énergétique. D'aucuns soutiennent même que la réduction des émissions en soi procurera des avantages financiers nets. Par contre, même si la réduction des émissions de CO₂ peut être avantageuse pour la société dans son ensemble et certains secteurs de l'économie, elle peut entraîner des coûts ailleurs. Selon toute probabilité, il faudra appliquer des stratégies visant à réduire les répercussions de ces coûts si l'on veut susciter la volonté politique d'agir.

Depuis 420 000 an, il existe une étroite corrélation entre les concentrations atmosphériques de CO₂ et la température du globe. Or, les quantités de CO₂ que l'être humain a libérées dans l'atmosphère par la mobilisation de très anciens réservoirs de combustibles fossiles sont plus élevées qu'elles ne l'ont jamais été au cours de cette longue période – et probablement même en 20 millions d'années. En outre, selon une théorie mécaniste bien étayée par l'observation, le CO₂ entraîne le piégeage d'énergie dans l'atmosphère. Même si l'on ne sait pas avec certitude quels seront les effets du CO₂ présent dans l'atmosphère sur le climat, il est raisonnable de se demander s'il est vraiment « écologique » de continuer à accroître les quantités de CO₂ dans l'atmosphère en brûlant des combustibles fossiles.