

AVANT-PROPOS

La terre reçoit le rayonnement solaire : elle en réfléchit une partie par les nuages, les poussières, la surface du sol et des océans et elle absorbe le reste dans la basse atmosphère, les océans et les continents. L'énergie ainsi absorbée est réémise sous forme de rayonnement thermique (infrarouge) mais une partie de ce rayonnement est absorbée par des gaz qui se trouvent dans l'atmosphère : la vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane, le protoxyde d'azote, l'ozone, les fluorocarbures. Ceci constitue un effet de serre autour de la terre qui contribue à réchauffer celle-ci. On estime qu'en l'absence d'un tel effet, la température moyenne à la surface de la terre serait de -18°C au lieu de 15°C observés aujourd'hui.

L'effet de serre en soi a donc des conséquences bénéfiques.

Ce dont on parle depuis quelques années, c'est d'une augmentation de l'effet de serre qui serait provoquée par un accroissement de la concentration de gaz à effet de serre résultant de l'activité humaine liée au développement de nos sociétés. Cette augmentation de l'effet de serre entraînerait une élévation de la température moyenne à la surface de la terre, laquelle agirait sur l'écosystème (air, océans, glaces, forêts, terres) en provoquant des changements climatiques susceptibles de bouleverser, dans certaines régions au moins, les conditions de vie : dépérissement de la forêt et changements dans la production agricole, disparition de certaines terres du fait de la montée du niveau de la mer, développement de certaines maladies en raison des changements de température et d'humidité, appauvrissement en eau douce.

Depuis plusieurs années les savants de nombreux pays se penchent sur ce sujet difficile et controversé et tentent d'évaluer les risques de changements climatiques résultant de l'accroissement de l'effet de serre d'origine humaine afin de permettre aux responsables politiques de prendre les mesures appropriées pour limiter ces risques.

Les scientifiques ont mis au point des modèles qui représentent les composantes de l'écosystème et grâce aux progrès de l'informatique ont essayé de résoudre les systèmes d'équations représentant les échanges au sein de cet écosystème. Ils ont également, grâce à l'analyse des carottes de glace prélevées à grande profondeur au Groenland et dans l'Antarctique, et grâce à l'étude des sédiments marins, pu reconstituer l'histoire du climat sur une période de l'ordre de 200 000 ans. Ces analyses ont montré qu'au cours d'une telle période la tempéra-

ture moyenne à la surface de la terre n'avait varié que de 5°C , que la concentration de gaz carbonique dans l'air a varié comme cette température moyenne et que cette concentration a oscillé entre 170 et 290 ppmv (ppmv = 1 cm^3 par m^3) alors qu'aujourd'hui la concentration en gaz carbonique est de l'ordre de 360 ppmv et atteindra probablement 1000 ppmv à la fin du siècle prochain, si des mesures spectaculaires de réduction des émissions ne sont pas prises.

Plusieurs scénarios ont été étudiés, correspondant à des développements différents au cours du prochain siècle. Celui qui est fondé sur des hypothèses moyennes prévoit une augmentation de la température moyenne de l'ordre de 2°C et une élévation du niveau de la mer de 50 cm. Des changements climatiques importants dans certaines régions ne sont pas à exclure.

C'est en 1992 qu'a eu lieu à Rio le Sommet de la Terre au cours duquel un grand nombre de pays se sont mis d'accord pour prévenir les risques de changements climatiques. Les pays industrialisés se sont engagés à ramener en l'an 2000 leurs émissions de gaz à effet de serre au niveau atteint en 1990, soit individuellement, soit dans le cadre de grandes organisations régionales telles que l'Union européenne, elle-même signataire de la Convention-Cadre de Rio.

À Berlin, en 1995, les signataires de la Convention ont décidé d'aller au-delà de l'an 2000 et de prendre des politiques et mesures pour réduire les émissions après cette date. Il est prévu de signer en 1997 un protocole qui indiquera les engagements des diverses parties signataires.

La France est évidemment active dans ces négociations européennes et internationales. Sa situation n'est pas simple car elle est parmi les pays industrialisés les moins émetteurs de gaz à effet de serre (du fait notamment de son électricité d'origine nucléaire). Il en résulte que des efforts comparables, en niveau de réduction d'émissions, à ceux que peuvent faire d'autres pays, sont plus difficiles pour elle politiquement et financièrement.

Elle est consciente des nombreux enjeux qui se cachent derrière ces négociations : écologiques, économiques, techniques voire diplomatiques et politiques.

Pierre CHEMILLIER

Président de la Mission interministérielle de l'effet de serre

Rédacteur en chef
Nicolas BOULEAU

Secrétaire de Rédaction
Jean GUIGNÉ

Comité de Rédaction

Président

Jean-Claude PARRIAUD

Vice-Président

Jacques LAGARDÈRE

Membres

Jean BILLARD

Jean-Armand CALGARO

Jean-Yves CHAUVIÈRE

François CHEVOIR

Vidal COHEN

Gabriel DUPUY

Jean-Pierre GIBLIN

Armand HATCHUEL

Jean-Paul LACAZE

Jean LATERRASSE

Claude MILLIER

Antoine PICON

François PLASSARD

Rémy POCHAT

Jacques RILLING

Philippe SARDIN

Jacques THEYS

Pierre VELTZ

Directeur de la Publication

Jacques LAGARDÈRE

Rédaction

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSEES

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

93167 NOISY-LE-GRAND cedex

Tél : 49 14 36 23

Fax : 49 14 36 20

Web : <http://www.enpc.fr/Annales>

Édition, diffusion :

LAVOISIER ABONNEMENTS

11, rue Lavoisier, 75384 PARIS cedex 08

Tél : + 33 (1) 47 40 67 00

Fax : + 33 (1) 47 40 67 03

Web : <http://www.Lavoisier.fr>

E. mail : abo@Lavoisier.fr

Publicité : TEC & DOC - LAVOISIER

14, rue de Provigny

94236 CACHAN cedex

Tél : + 33 (1) 47 40 67 00

Fax : + 33 (1) 47 40 67 02

Web : <http://www.Lavoisier.fr>

E. mail : edition@Lavoisier.fr

Copyright : ENPC 1996

ISSN 0152-9668

Imprimé par :

EUROPE MEDIA DUPLICATION S.A.

F 53110 LASSAY-LES-CHÂTEAUX

Dépôt légal : août 1996

1 Avant-propos

P. CHEMILLIER

4 Éditorial

N. BOULEAU

5 L'éventualité d'un changement de climat

B. BOLIN

Sans qu'on sache encore en mesurer la gravité, les indices concordent qui laissent prévoir un changement climatique dû à l'effet de serre. Malgré les incertitudes et l'insuffisance actuelle de nos connaissances, il est urgent de tirer les conclusions pratiques de ce qui est connu, et d'agir ; l'acquisition de nouvelles connaissances et l'action fourniront une base plus solide pour les étapes suivantes.

13 Changement de climat : des modèles aux négociations R. COINTE

La Convention Climat (Rio, 1992) a fixé un cadre général à l'action internationale visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les rencontres qui ont suivi ont mis en évidence des approches différentes sur le niveau de l'effort à accomplir et la répartition de la charge entre pays développés et pays en développement, les divergences d'intérêt de pays producteurs de pétrole ou bien encore, s'agissant des pays de l'UE, de leur situation respective au point de départ et des marges de progrès possibles.



20 Les modèles climatiques se perfectionnent

A. BERGER

Les climatologues utilisent des modèles de prévision numérique du temps étendus au climat, lequel est un système à réponse lente. Aux modèles atmosphériques, on commence à adjoindre des modèles d'océan, les interactions océan-atmosphère, la glace, les poussières, etc. De nombreuses inconnues demeurent, mais les observations des centres de recherche viennent confirmer le réalisme des nouveaux modèles qui tendent à montrer une influence de l'homme sur le climat.

24 Modéliser l'effet de serre

R. SADOURNY

La modélisation de l'effet de serre repose sur une hiérarchie de modèles qui vont du relativement simple à l'extrêmement complexe – uni, bi, puis tridimensionnels –, ces derniers couplant les circulations générales atmosphérique et océanique. Si l'on se réfère à la prévision du temps, testée quotidiennement par comparaison aux observations, on mesure la complexité des problèmes qui se posent au modélisateur, aux échelles de temps qui intéressent le climat, mêlant de nombreux paramètres, notamment les processus critiques du bilan radiatif.



31 Les ingénieurs comme experts auprès des politiques ?

Ph. ROQUEPLO

La genèse de la sensibilisation du monde politique et de l'opinion au problème de l'effet de serre, à propos duquel les météorologues ont exercé une fonction d'« expertise-alerte », conduit à interroger sur la définition des rôles et des missions respectifs du scientifique et de l'expert, celui-ci ayant obligation de répondre, contrainte qui ne s'impose pas au scientifique. Toute expertise n'est-elle pas affectée par la subjectivité de celui qui la prononce ? L'auteur plaide pour l'ouverture d'« espaces collectifs d'expertise » et pour l'institutionnalisation de l'expertise au sein des organismes de recherche et entre eux.



38 Activités humaines et effet de serre atmosphérique

M. PETIT

L'insuffisante fiabilité des estimations des effets des variations climatiques à l'échelle des écosystèmes les rend difficiles à qualifier. Les risques pour la sécurité alimentaire, les ressources en eau, la santé humaine et les autres systèmes naturels et socio-économiques sont cependant réels. Les mesures de stabilisation des concentrations des gaz à effet de serre auront un coût, variable selon le développement économique des pays, leur choix d'infrastructures et les ressources naturelles dont ils disposent. Le coût global devrait être réduit par la conclusion d'accords bilatéraux, régionaux ou internationaux.

44 Transports et effet de serre

J.P. ORFEUIL

Sommes-nous vraiment capables de maîtriser les émissions de gaz à effet de serre dans les transports, alors qu'on assiste à une augmentation constante des trafics routiers et aériens ? Des marges de manœuvre très importantes existent cependant. Leur mise en œuvre repose à court terme sur l'adoption de « stratégies sans regret », permettant de gagner à la fois sur les consommations d'énergie et sur d'autres terrains, comme la pollution atmosphérique, la congestion urbaine ou encore l'emploi.

50 Les grandes lignes de la position française dans l'organisation de l'effort international de prévention du changement climatique

J.J. BECKER

La Convention Cadre (Rio, 1992) ne respecte pas les critères d'efficacité économique, d'équité et de compatibilité avec les règles du commerce international. Le futur protocole devra comporter des engagements des Parties sur les politiques et mesures qu'elles décideront de mettre en œuvre plutôt que sur des objectifs d'émissions à des échéances précises. La priorité devra porter sur une fiscalité sur les produits émettant du CO₂, la suppression de toute forme de subvention encourageant la consommation d'énergie fossile et une réglementation visant à améliorer l'efficacité énergétique des produits dont les marchés sont ouverts à la concurrence internationale (voitures, notamment).



55 Revue de livres

63 Les auteurs

Les dessins sont de Swane

Photo de couverture :

Carte des anomalies de température, en plus (rouge) ou en moins (bleu) de l'année 1990 par rapport à la moyenne de la période de base 1951-1980, extraite des informations climatiques données par l'IPCC sur Internet (voir l'article de R. Cointe).

EDITORIAL

La question de l'influence des activités humaines sur les changements climatiques est exemplaire à bien des égards. D'abord au niveau des lois physiques, chimiques et biochimiques, les phénomènes sont sensibles aux conditions initiales, non linéaires, d'une grande complexité. Les risques sont délicats à définir à cause des incertitudes et des limites des connaissances mais aussi parce que la notion de cause et d'effet repose sur un découplage trop schématisant. Ensuite, par la place particulière qu'elle donne au raisonnement économique puisqu'il s'agit de savoir comment modifier les règles pour obtenir certains effets en laissant les agents optimiser leurs décisions. Exemple enfin comme champ d'expérience sociologique, par les rôles qu'elle fait jouer aux scientifiques, aux experts et aux hommes politiques. A cet égard, même si la localisation et l'ampleur des modifications reste incertaine ainsi que les causes qui risquent de les engendrer, une prise de conscience est nécessaire qui par le biais de l'opinion est le seul levier dont disposent véritablement les instances internationales pour faire entendre un tant soit peu le point de vue collectif et l'intérêt général. Ainsi que nous l'avons souvent analysé dans nos colonnes (cf. notamment le n° 75 *Rationalité et pragmatisme*, et le n° 76 *Risques et rationalité*), cette évolution de l'opinion ne peut se faire que si l'on s'abstient résolument de tout propos abusif et de toute fausse alarme.

Il est à noter cependant qu'elle est plus avancée à l'étranger qu'en France alors que les travaux scientifiques français sont parmi les plus reconnus sur la question.

Les Annales des Ponts veulent contribuer à ces éléments de discussion afin de favoriser les voies industrielles et les dispositions économiques à trouver pour mieux préparer un avenir qui tienne compte de ce nouveau type de contraintes. Dans ce but, elles organisent un colloque sur ce thème le 28 novembre 1996 à l'École des Ponts, dont ce numéro est un document préparatoire. On y trouvera trois parties : d'abord des éclairages généraux sur la problématique telle qu'elle est perçue dans les négociations internationales, (Bert Bolin, Raymond Cointe), puis des évaluations des connaissances scientifiques et des explications sur les modèles (André Berger, Robert Sadourny) et enfin des

études sociologiques et économiques (Philippe Roqueplo, Michel Petit, Jean-Pierre Orfeuill, Jean-Jacques Becker) à quoi nous avons joint une revue de livres qui peut aider le lecteur à se repérer dans la littérature sur le sujet.

D'un point de vue économique, dans l'éventualité d'une taxe sur les émissions de gaz à effet de serre, certains pays préfèrent payer pour contribuer à leur quote-part d'effort alors qu'il faudra prêter à d'autres pour les aider à engager les transformations nécessaires. La prise en compte de l'avenir dans une perspective de développement durable pose la question des taux d'actualisation. Comme le remarque Jean-Pierre Orfeuill, les taux actuels constituent une véritable myopie qui télescope les préoccupations du long terme et les opportunités du court terme. C'est le problème que se pose le prix Nobel d'économie K.J. Arrow dans un récent article intitulé *L'application de l'analyse économique de l'investissement à la lutte contre « l'effet de serre »**. Considérant que la limitation de la pollution est une activité d'investissement et faisant remarquer qu'avec un taux d'intérêt de 5 % la valeur d'un dollar annuel de bénéfice dans 50 ans est aujourd'hui de 8 cents, il écrit « il est clair qu'avec des taux d'intérêts élevés, on est assez indifférent à tout ce qui n'est pas une catastrophe majeure ». Il y a donc lieu de se pencher sérieusement sur les problèmes d'actualisation, et pour ce faire Arrow rend d'abord un hommage historique : « Bien sûr, l'idée et la logique de l'analyse coût-bénéfice doivent être recherchées dans l'article classique de Jules Dupuit en 1844, avec une référence particulière aux Ponts et Chaussées français ». Il s'agit d'un article intitulé *De la mesure de l'utilité des constructions publiques* paru dans les Annales des Ponts et Chaussées (2^e sem. 1844) et complété en 1849, où est notamment brillamment discutée la tarification des péages. Nous en présenterons une analyse dans un prochain numéro.

Nicolas BOULEAU

* *Revue de l'énergie*, oct. 95, repris dans *Problèmes économiques* n° 2456.

L'ÉVENTUALITÉ D'UN CHANGEMENT DE CLIMAT ¹

Bert Bolin

SOMMES-NOUS EN TRAIN DE MODIFIER LE CLIMAT DE LA PLANÈTE ? CETTE QUESTION, UN NOMBRE DE PLUS EN GRAND DE PERSONNES SE LA POSENT AUJOURD'HUI. EN RÉALITÉ, NOUS NE SOMMES PAS ENCORE CAPABLES DE PROUVER QU'IL EN EST AINSI. MAIS NOUS AVONS DE PLUS EN PLUS DE PREUVES QUE L'HOMME EST EN PASSE DE PROVOQUER UN CHANGEMENT CLIMATIQUE. ALORS, ALLEZ-VOUS SANS DOUTE ME DIRE : « EST-CE QUE C'EST TRÈS GRAVE ? » LES EXPERTS EUX-MÊMES NE SONT PAS CAPABLES D'APPORTER UNE RÉPONSE CLAIRE ET DÉFINITIVE À LA QUESTION. CERTAINS D'ENTRE VOUS VONT PEUT-ÊTRE SE DIRE : « POURQUOI SE TRACASSER AUJOURD'HUI ? » D'AUTRES ENCORE SERONT INQUIETS À L'IDÉE QUE L'HOMME PUISSE VÉRITABLEMENT MODIFIER SI SENSIBLEMENT L'ENVIRONNEMENT DU GLOBE.

Mon point de vue, et celui de l'IPCC ², est que nous devons incontestablement nous préoccuper d'un impact mondial possible de l'homme sur le climat de la planète, et que nous devons étudier la question très attentivement.

QUE SAVONS-NOUS ?

Les conclusions suivantes sont extraites des évaluations passées de l'IPCC (IPCC, 1990, 1992, 1994) : nous savons que la température moyenne du globe a augmenté de 0,4-0,6 °C au cours du 20^e siècle. Les sept années les plus chaudes jamais enregistrées se situent au début des années 80, comme le montre la figure 1. En moyenne, les quinze dernières années ont probablement été plus chaudes que n'importe quelle période équivalente des 600 dernières années.

Nous savons que la température moyenne du globe est déterminée par l'équilibre entre les rayons solaires qui lui parviennent et le flux du rayonnement infrarouge renvoyé dans l'espace. Cet équilibre dépend de la présence dans l'atmosphère de gaz à effet de serre, essentiellement de la vapeur d'eau et du gaz carbonique. Sans eux, la terre serait inhabitable.

Nous savons que les concentrations de gaz à effet de serre augmentent sous l'effet des activités humaines. Le gaz carbonique a augmenté d'environ 28 %, comme le montre la figure 2. D'autres gaz à effet de serre, comme le méthane, l'oxyde nitreux et les CFC, ont également sensiblement augmenté. Leur effet total combiné (à l'exception de la vapeur d'eau) équivaut à l'heure actuelle à une augmentation de près de 50 % du gaz carbonique.

Avec l'aide de modèles théoriques de l'atmosphère, nous calculons que cette augmentation devrait produire une élévation moyenne de la température du globe de 0,8-2,2 °C. Au taux actuel d'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre, l'inertie du système climatique, due en particulier à la forte capacité thermique des océans, retarde ces changements de 30 à 50 %. Les changements observés se situent encore dans la plage inférieure de ce que l'on est théoriquement en droit d'attendre.

Mais nous savons également que l'homme émet de l'anhydride sulfureux lorsqu'il brûle des combustibles fossiles (qui sont les précurseurs de la formation des aérosols de sulfate) et lorsqu'il brûle de la biomasse. La teneur atmosphérique en aérosols s'en trouve accrue. Ces aérosols augmentent la réflexion du rayonnement solaire, tendent à rafraîchir la terre, et peuvent aujourd'hui réduire le réchauffement de la planète en raison de l'augmentation de

1. Cet article reprend les passages essentiels de la conférence prononcée par l'auteur lors du 16^e Congrès Mondial de l'Énergie (Tokyo, 8-16 octobre 1995).

2. Intergovernmental Panel on Climate Change.

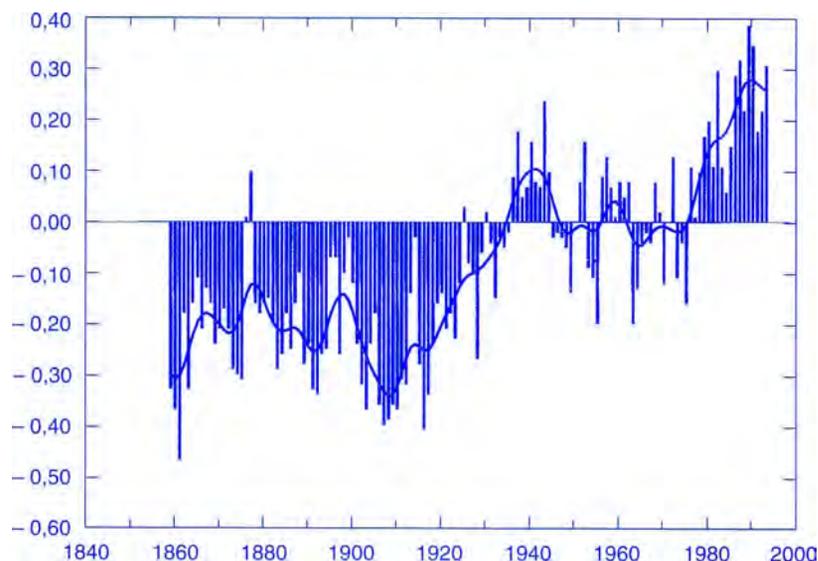


Figure 1
Variation de la température moyenne de l'air à la surface de la Terre de 1860 à 1994. La période de référence est 1951-80. 1995 a battu tous les records avec une température 0,42 °C au-dessus de cette référence. (Ph. Jones, Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich, U.K.).

20 à 40 % des gaz à effet de serre. Pas moins de 90 % des gaz sulfureux émis par l'homme le sont dans l'hémisphère nord. Il faut néanmoins rappeler que les gaz sulfureux provoquent une acidification. C'est pourquoi les pays développés ont sensiblement réduit leurs émissions de soufre au cours de la dernière décennie, mais elles ont progressé rapidement ailleurs.

Nous savons que l'augmentation de la concentration dans l'atmosphère des gaz à effet de serre per-

sure en moyenne entre 50 et 100 ans, parfois plus (à l'exception du méthane dont la durée de vie ne dépasse pas 12 à 17 ans). Les aérosols, en revanche, disparaissent en l'espace de quelques semaines. Le système climatique possède également des temps de réponse caractéristiques qui vont de quelques décennies à des siècles. Une diminution sensible du réchauffement résultant des gaz à effet de serre peut prendre un demi-siècle ou plus. En d'autres termes, **d'un point de vue pratique aussi bien que politique, un changement majeur du système climatique est pratiquement irréversible.**

De plus, si l'on prend des mesures pour réduire l'utilisation des combustibles fossiles, les aérosols diminueront également au même rythme. En revanche, le réchauffement résultant des gaz à effet de serre, lui, sera là pour longtemps. Il se produirait alors un démasquage progressif du réchauffement, dû aux gaz à effet de serre dissimulés par la présence des aérosols.

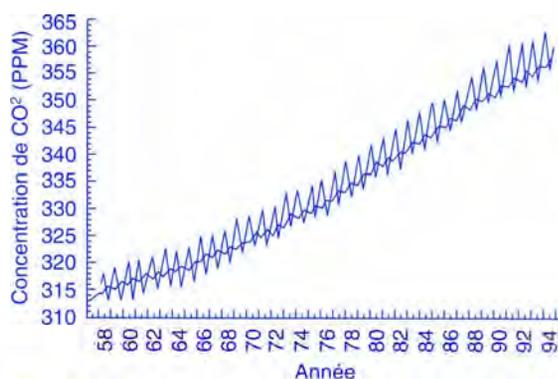


Figure 2
Évolution des concentrations de gaz carbonique dans l'atmosphère entre 1960 et 1994, Laboratoire de Mauna Loa (Hawaï).

QUE PEUT-IL SE PASSER SI NOUS NE PRENONS PAS DE MESURES PRÉVENTIVES ?

A présent, les émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols sont relativement bien connues. De nom-

breux groupes de recherche utilisent des modèles climatiques pour simuler les changements probables du climat résultant de ces émissions passées, et ils tentent également de prévoir les changements probables résultant des émissions potentielles futures (Hadley Centre de Bracknell, R-U, 1995 ; Institut Max Planck de météorologie de Hambourg). Ces changements ont été déduits sur la base des hypothèses raisonnables de développement économique du monde au cours des 50 à 100 années à venir (IPCC, 1992 ; CME³, 1993). Il n'est évidemment pas possible de prévoir ces changements futurs dans le monde avec exactitude, mais il est utile d'explorer les conséquences d'une série de scénarios possibles.

La figure 3 montre une simulation des changements passés de la température moyenne du globe et des changements futurs dus à une prévision centrale des émissions futures, et la figure 4 montre la répartition globale des changements de température qui en résultent pour l'an 2040 (Hadley Centre, 1995). Remarquez les différences entre les expériences faites avec et sans l'inclusion des aérosols. J'insiste sur le fait que ces résultats ne sont que des exemples de ce qui pourrait se passer : ce ne sont pas des prévisions.

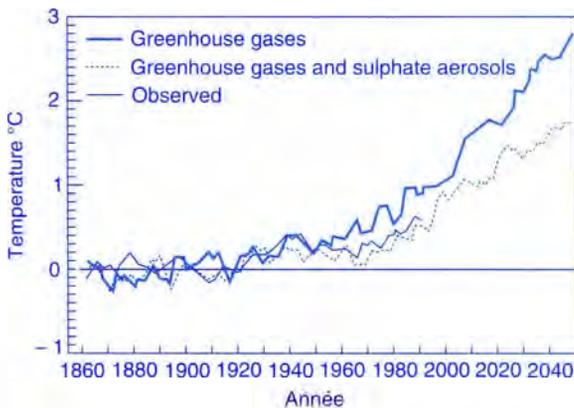


Figure 3
Observation des variations de la température moyenne de la surface du globe pour la période de 1860 à nos jours (la courbe se termine vers 1990). Les résultats de deux modélisations des variations climatiques pour la période 1860-2050 sont également indiqués, avec les gaz à effet de serre seuls (courbe du haut), et avec l'effet combiné des gaz à effet de serre et des aérosols de sulfate (courbe du bas). Les courbes ont été lissées pour montrer les tendances générales sur plusieurs décennies (Hadley Centre, 1995).

Par ailleurs, des modélisations différentes sont diversement sensibles à l'évolution des caractéristiques radiatives de l'atmosphère. Les résultats de l'étalonnage des modèles par rapport aux changements observés dans le passé sont tout juste disponibles aujourd'hui. Ceci explique que l'incertitude d'une projection climatique basée sur un scénario donné de concentrations futures des gaz à effet de serre et des aérosols dans l'atmosphère soit de $\pm 50\%$. L'incertitude relative à la répartition géographique des changements de température autour de la moyenne de variation est encore plus grande. Il y a eu, par le passé, des changements climatiques naturels se produisant probablement au hasard (figure 1). Ces changements dans le temps et dans l'espace se produiront également à l'avenir, et ils obscurciront un signal potentiel des changements induits par l'homme.

Un grand nombre d'expériences sur les variations climatiques nous apprennent cependant, avec un degré de certitude raisonnable, que la température se réchauffera probablement plus vite sur les terres que sur les océans. L'avertissement maximal nous sera probablement donné en hiver, dans les latitudes septentrionales moyennes et élevées, tandis que l'avertissement dans la région arctique en été devrait être minimal. Le cycle hydrologique s'intensifiera probablement, avec une probabilité croissante de fortes précipitations, mais l'augmentation simultanée de l'évaporation pourrait de toute façon présenter un risque accru de sécheresse sur les continents (IPCC, 1992 ; voir également IPCC, 1995).

En raison de la difficulté de projeter la répartition géographique probable du changement climatique, il n'est pas encore possible de bien prévoir la répartition de ses impacts sur les pays et les peuples, mais l'on remarque que (IPCC, 1992 ; voir également IPCC, 1995) :

- le niveau de la mer devrait s'élever de 20 à 80 cm au cours du prochain siècle, et il continuera de s'élever même si le climat se stabilise ;
- les zones climatiques se déplaceront, influençant l'agriculture et l'exploitation forestière, ce qui pourrait toucher plus particulièrement les pays en développement des zones marginales ;

3. Conseil Mondial de l'Énergie.

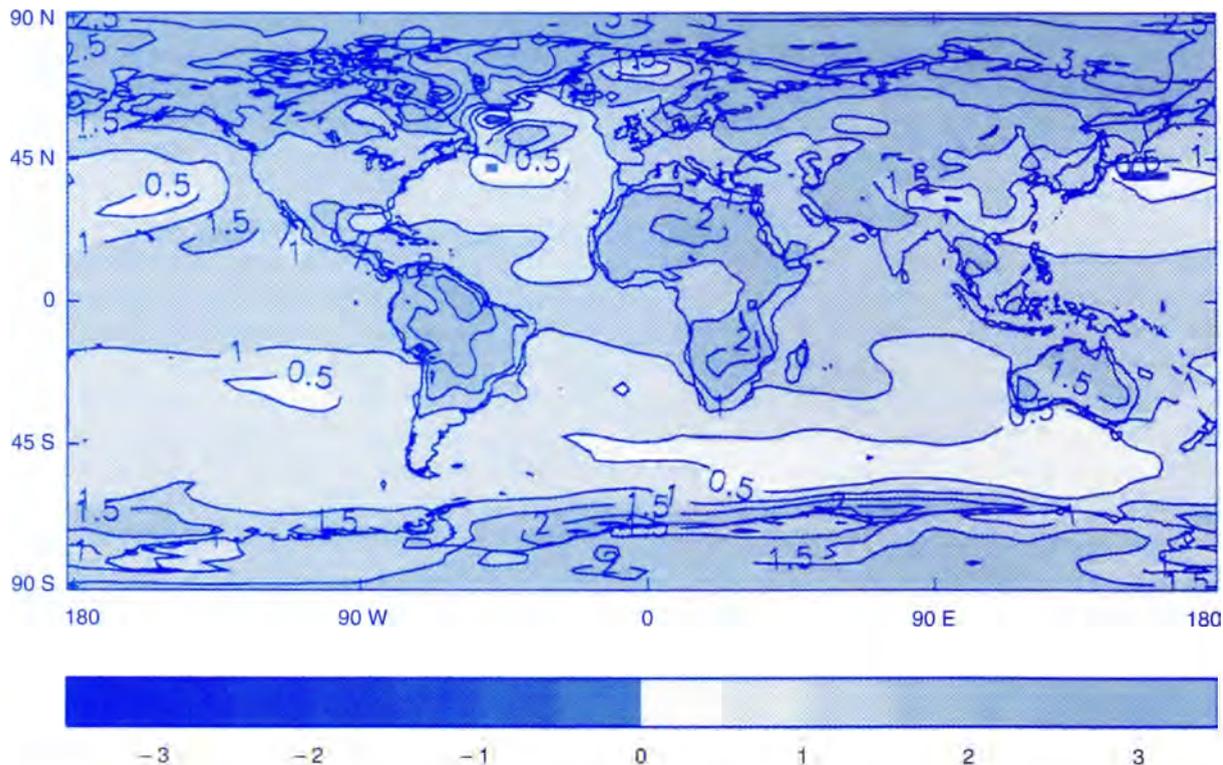


Figure 4
Moyenne des variations de température annuelles (°C) escomptées pour d'ici à 50 ans, calculées à l'aide du modèle climatique de Hadley Centre (évolution des moyennes de 1970-1990 et de 2030-2050 obtenues par le modèle). Le réchauffement se produit partout à l'exception d'une petite zone de l'Atlantique nord, au sud du Groenland (Hadley Centre, 1995).

- le manque d'eau pourrait bien devenir un problème plus urgent dans certaines zones des régions tropicales et subtropicales ainsi qu'à l'intérieur des continents ;

- les maladies, par exemple la malaria, risquent de s'étendre aux régions non exposées jusqu'à présent. Les gens s'étant lentement adaptés au climat prédominant, un changement brusque aurait essentiellement des effets négatifs, mais non exclusivement. Il règne cependant une incertitude considérable sur la rapidité à laquelle les conséquences se feraient sentir et sur leur gravité potentielle. Quoiqu'il en soit, **l'incertitude ne réduit pas le risque d'un changement climatique. Elle en rend seulement la gravité plus difficile à évaluer.**

Le résumé ci-dessus s'appuie pour une grande part sur les évaluations que l'IPCC a publiées au cours des cinq dernières années. Des centaines d'experts ont été impliqués dans le processus, et des milliers d'articles scientifiques ont été passés à la loupe. Les rapports ont été soumis à un examen minutieux

d'experts avant d'être acceptés et publiés, afin de s'assurer que le point de vue général de la communauté scientifique avait été bien compris. Beaucoup de commentaires ont été reçus, et les projets de rapport ont été modifiés lorsque les arguments se sont avérés scientifiquement convaincants.

Cependant, l'acquisition de nouvelles expériences pourrait bien justifier des modifications aux conclusions actuelles. En d'autres termes : **on ne peut jamais exclure les surprises, mais nous ne pourrons jamais savoir si les nouvelles découvertes accroîtront ou réduiront les risques de dommage pour les peuples et leurs sociétés.**

STABILISATION DES CONCENTRATIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

La Convention sur le climat a pour objectif principal la « stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre à un niveau qui empêcherait une

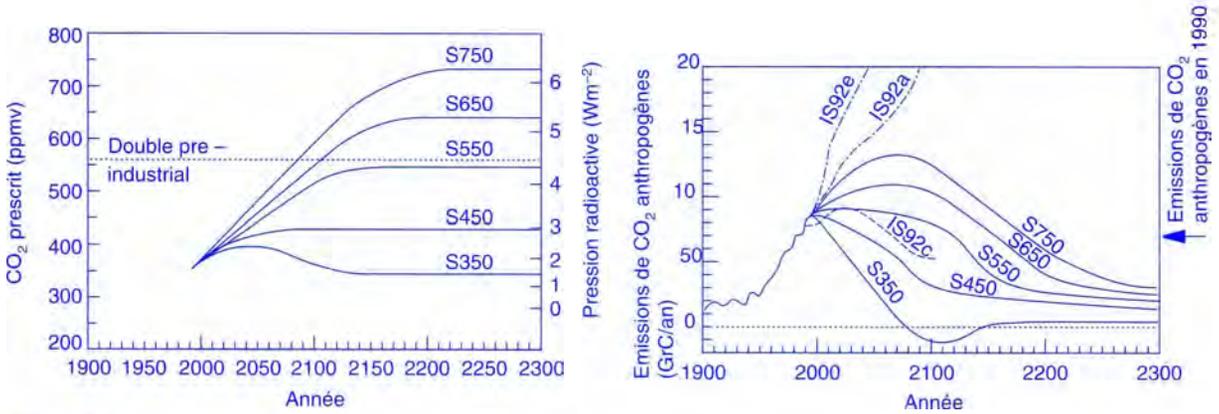


Figure 5

(a) Voies prescrites pour la stabilisation du gaz carbonique permettant d'atteindre les niveaux de concentration de 350, 450, 550, 650 et 750 ppmv ; (b) Émissions futures nécessaires pour pouvoir obtenir les changements de concentration indiqués en (a).

interférence dangereuse sur le système climatique ». L'interprétation du mot « dangereux » ne relève évidemment pas du domaine scientifique. Les experts peuvent toutefois rassembler des informations importantes dans ce contexte. Nous posons donc la question suivante : **quels seraient les scénarios d'émissions acceptables pour stabiliser le gaz carbonique présent dans l'atmosphère à un ensemble de niveaux de concentration possibles ?** La concentration de gaz carbonique à l'ère préindustrielle était d'environ 280 ppmv (parts par million). Elle approche actuellement des 360 ppmv. Le doublement de la concentration atmosphérique implique (selon les modélisations) une augmentation de la température d'équilibre moyenne du globe de 1,5 à 4,5 °C. Pour permettre une vaste perspective, différents niveaux de stabilisation ont été supposés : 450, 550 (ce qui approche du doublement), 650 et 750 ppmv [voir la figure 5 (a)]. L'ensemble des scénarios d'émissions que l'on en a déduit est donné à la figure 5 (b). La plage d'incertitude est évaluée à 10-20 %. Les scénarios central, maximum et minimum de l'IPCC (IS92 a, e et c), qui ne supposent pas d'interventions pour réduire les émissions, sont donnés à titre de comparaison. (Il convient toutefois de remarquer que le scénario IS92 c implique une croissance économique lente et une très faible croissance démographique mondiale, ne dépassant pas 6,3 milliards en l'an 2100). On pourra évidemment choisir d'autres voies de stabilisation à un niveau donné que celles utilisées à

la figure 5 (a). Si l'on accepte une augmentation plus rapide des concentrations au départ, il faudra par la suite réduire les émissions davantage et plus rapidement pour pouvoir parvenir à une stabilisation.

Les émissions cumulées dans le temps sont un facteur-clé pour déterminer le niveau de stabilisation. C'est ce que montre la figure 6, et ses caractéristiques générales sont solides. En l'espace de quelques décennies, les courbes se situent toutes deux au-dessus des scénarios de stabilisation, et ce d'autant plus que le niveau de stabilisation est

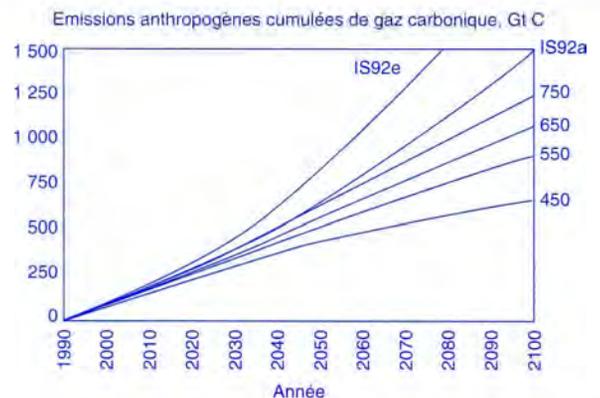


Figure 6

Les émissions cumulées dans le temps permettront d'obtenir la stabilisation représentée à la figure 5. On peut les rapprocher de celles qui correspondent aux scénarios de l'IPCC sans mesures préventives, IS92a (scénario central) et IS92e (scénario haut),

faible. La même chose est vraie pour le scénario central proposé par le CME.

Par comparaison, les émissions cumulées résultant de l'utilisation de combustible fossile depuis le milieu du siècle dernier jusqu'à nos jours ont été d'environ 240 Gt C (carbone, émissions résultant du déboisement et de l'évolution de l'utilisation des sols 80-120 Gt C). Les réserves de pétrole et de gaz naturel connues et évaluées peuvent atteindre jusqu'à 200-300 et 200-350 Gt C respectivement. Les réserves de carbone sous forme de charbon sont au moins dix fois supérieures. Il existe une grande quantité de combustible fossile, qui pourrait plus que tripler les concentrations atmosphériques.

Selon les analyses des Nations Unies, la population mondiale devrait atteindre environ 9,5 milliards en 2050, et 11,3 milliards en 2100. On peut ainsi évaluer les émissions approximatives acceptables par tête pour parvenir à une stabilisation (voir figure 7).

Environ un quart de la population mondiale vit dans les pays développés (y compris les pays en transition économique). Leurs émissions actuelles par tête résultant de l'utilisation de combustible fossile approchent les 2,8 tonnes C par an (variant entre 1,5 et 5,5). Les pays en développement, en revanche, n'émettent en moyenne pas plus de 0,5 tonne C par tête et par an (variant entre 0,1 et

2,0) et la moyenne mondiale est à l'heure actuelle d'environ 1,3 tonne C par tête et par an. Le schéma montre les limites qui s'imposeraient par nature dans le cas d'une croissance démographique qui suivrait les prévisions des Nations Unies. L'on voit tout de suite les impératifs rigoureux qui en résulteraient, surtout si l'on essaie de stabiliser les émissions au niveau du doublement du gaz carbonique ou en dessous. Comme on peut le voir sur le schéma, même si les pays développés réduisaient leurs émissions par tête de l'ordre de 10 à 20 % à chaque décennie à partir de l'an 2000, les pays en développement ne pourraient pas faire plus que doubler en moyenne leur moyenne d'émissions par tête actuelles (soit jusqu'à environ 1 tonne par tête et par an) avant que les émissions ne puissent diminuer.

Le gaz carbonique n'est que l'un des gaz à effet de serre dont les concentrations augmentent sous l'effet de l'activité humaine. Même si les concentrations atmosphériques des autres gaz se stabilisaient aux niveaux actuels, le gaz carbonique devrait être stabilisé en dessous de 500 ppmv pour pouvoir éviter que l'effet de serre total (équivalent) ne dépasse celui équivalant au doublement du gaz carbonique et qu'il ne soit que légèrement supérieur à 650 ppmv, si l'effet de serre total ne dépassait pas 750 ppmv. Si le triplement de la concentration préindustrielle (850 ppmv) était acceptable (selon les meilleures prévisions aboutissant à un réchauffement global moyen de 2,5 à 7,5 °C), il faudrait évidemment imposer des limites d'émission moins rigoureuses, mais bien peu de gens, si tant est qu'il y en ait, pensent que ce soit une option réaliste.

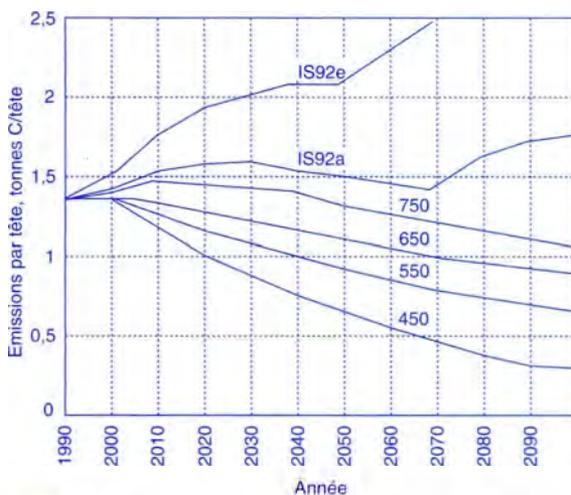


Figure 7
Émissions par tête, déduites de la figure 5b, incluant les émissions provenant d'un changement d'usage des sols et supposant une croissance démographique conforme aux prévisions centrales des Nations Unies.

EST-IL URGENT D'AGIR ?

C'est un fait que nous ne connaissons pas bien les répercussions d'un changement climatique mondial, mais **ce qui est sûr, c'est que les changements, régionaux au moins, risquent d'être graves.**

Les choix politiques sont les suivants :

- Remettre l'action à plus tard, prendre des mesures ultérieurement s'il s'avère que les conséquences sont effectivement graves, et s'adapter aux changements qui en résulteront en attendant que des palliatifs soient mis en place. La capacité d'adaptation diffère cependant grandement d'un pays à l'autre. La probabilité qu'un changement

climatique soit pratiquement irréversible reste évidemment un sujet de préoccupation constant. Par ailleurs, les coûts risquent d'être élevés parce qu'il faudra probablement agir rapidement. En revanche, on disposerait peut-être alors de certaines innovations technologiques.

- Prendre sans tarder des mesures préventives, en commençant par les moins onéreuses (certaines se justifient probablement par le fait qu'elles ne coûtent rien, par exemple la « politique du sans regret »). D'autres pays seront prêts à payer (à titre de police d'assurance, on appliquera par exemple le « principe de précaution »), et à se préparer à appliquer successivement des mesures plus radicales à mesure que la nécessité s'en fait sentir.

Les analyses économiques devront évidemment être à la base des décisions. Il est cependant difficile d'évaluer les coûts des dommages qui frapperont la planète d'ici à plusieurs dizaines d'années, par rapport à ceux que la société devra assumer pour des mesures préventives précoces. En outre, un grand nombre des répercussions d'un changement climatique ne pourront guère être évaluées en termes financiers. Les analyses coûts/avantages auront une valeur limitée, et les décisions politiques devront, dans une très large mesure, se baser sur des appréciations.

Il est évident que des accords internationaux seront nécessaires pour lancer des palliatifs. Il faudra harmoniser les mesures entre les pays, mais il est évidemment difficile de dire ce que représentera exactement cette harmonisation. Il sera également important de se mettre d'accord sur la façon de partager les charges, ce qui, conformément à la Convention sur le climat, implique de convenir de l'aide financière et du transfert technologique à fournir aux pays moins développés. Il est clair que la question du climat est encore considérée par la majorité des pays dans l'optique de ce qu'elle implique pour leur propre bien-être. On ne peut vraiment pas dire que la préoccupation véritablement mondiale soit généralisée, mais elle est absolument indispensable.

QUE PEUT-ON FAIRE ?

L'on s'accorde à penser qu'à l'heure actuelle l'énergie n'est pas fournie ni utilisée de façon efficace.

Bien que cette efficacité ne cesse malgré tout de croître, il reste encore beaucoup à faire. Mais vu les quantités limitées d'énergie qui sont utilisées à l'heure actuelle dans la plupart des pays en développement, il ne semble pas qu'une grande efficacité suffira à réduire le recours aux combustibles fossiles au point qui serait nécessaire pour stabiliser les gaz à effet de serre en dessous du doublement du niveau préindustriel. Ces mesures pourront cependant réduire sensiblement le rythme d'accroissement. Ceci laisserait davantage de temps pour développer des produits de remplacement durables à long terme ainsi que les stratégies optimales pour les réaliser. Rappelons-nous également la diversité des points de vue que la question climatique suscite dans des pays et chez des partenaires différents. Il faudra du temps pour qu'un accord intervienne sur la façon de partager les responsabilités d'une action éventuelle.

MIEUX CONNAÎTRE LES DANGERS POUR MIEUX LES AFFRONTER

Je suis là devant vous, responsables venus du monde entier, qui vous employez à assurer les approvisionnements énergétiques à long terme dans un monde en mutation rapide. Les combustibles fossiles sont la principale source d'énergie (75 à 80 % du total) parce que leurs coûts d'extraction et d'utilisation sont relativement faibles. Vos activités représentent quelque 5 % de l'économie mondiale, c'est-à-dire qu'elles sont de l'ordre de mille milliards de dollars par an. Le capital social est énorme, et son temps de rendement-type est long, peut-être de trente ans environ en moyenne ou même plus. L'inertie du système économique mondial est grande. Il est évident qu'un changement des autres systèmes d'approvisionnement énergétique, s'il est nécessaire, devra se faire progressivement. Mais l'analyse ci-dessus apporte des limites sévères sur ce qui peut être acceptable dans l'optique d'un changement climatique.

Les analyses de l'IPCC montrent qu'un changement climatique dû à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, essentiellement le gaz carbonique, est une grave menace potentielle pour le bien-être de l'homme, mais ce n'est certainement pas la seule qui nous attende. Les conséquences d'une croissance démographique

Réunie à Genève du 8 au 20 juillet 1996, la deuxième Conférence des Parties à la Convention Climat s'est concrétisée par l'adoption d'une déclaration ministérielle, la déclaration de Genève.

Cette déclaration devrait guider les négociations en cours. Elle va au-delà du mandat de Berlin sur trois points :

- elle endosse le deuxième rapport d'évaluation du GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) en jugeant qu'il doit servir de base scientifique pour renforcer dès maintenant les actions de lutte contre l'effet de serre ;
- elle interprète ce rapport en notant que l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère va conduire à des interférences dangereuses avec le système climatique ;

- elle appelle à fixer des objectifs de réduction des émissions juridiquement contraignants.

L'adoption de cette déclaration résulte en partie d'un retournement de la position des États-Unis qui ont créé la surprise en se prononçant en faveur d'objectifs juridiquement contraignants. Seuls les pays de l'OPEP, la Russie, l'Australie et la Nouvelle-Zélande se sont opposés à cette déclaration.

Tous les problèmes n'en sont pas pour autant réglés ; en particulier les États-Unis montrent une opposition farouche à l'adoption de politiques et mesures de prévention du changement de climat coordonnées ou harmonisées au niveau international. Cela laisse planer des doutes sérieux sur la crédibilité des objectifs qui pourront être affichés.

rapide en sont évidemment une autre. La disparition des terres fertiles et de la biodiversité, l'acidification des eaux et des sols, la pollution atmosphérique dans les mégapoles sont d'autres problèmes mondiaux qui sont en train de faire surface. Il en est qui répugnent à prendre ces problèmes au sérieux, peut-être en raison de leur complexité ou de la difficulté de parvenir à un accord sur ce qu'il faudrait faire. Dans cette situation, il vaudrait mieux essayer de comprendre ce qui risque d'être en jeu, plutôt que de nier l'existence des dangers. Il est essentiel que ceux qui assument la responsabilité des domaines-clés de l'activité humaine, comme vous, s'y impliquent. Je ne rencontre trop souvent que scepticisme et refus de reconnaître les dangers potentiels, mais dans le monde compétitif où nous vivons, ceux qui se rendent compte sans tarder des dangers et de la nécessité du changement seront également capables de saisir les nouvelles occasions. Ce sont eux les gagnants de l'avenir.

J'ai tout à fait conscience des incertitudes en jeu et de l'insuffisance actuelle de nos connaissances sur la question du changement climatique, mais nous ne devons pas décider de l'ignorer à cause de son caractère incertain. Il vaudrait mieux s'efforcer d'assimiler ce qui est relativement bien connu, de tirer les conclusions possibles et, sur ces bases, de commencer à agir dans la mesure jugée nécessaire. L'acquisition des connaissances et l'action fourniront une meilleure base pour les étapes suivantes, indépendamment de ce que nous serons peut-être obligés de faire. Nous entrons dans une phase de la

question du changement climatique qui exige la participation sérieuse de tous les groupes sociaux, le groupe que vous représentez n'étant pas le moindre. Nous avons besoin d'énergie pour développer la prospérité, mais elle doit être fournie de façon à ne pas être une menace pour le développement durable de l'homme sur la terre. ■

Références bibliographiques

- Hadley Centre 1995, *Modelling Climate Change 1860-2050*, Bureau météorologique de Bracknell (R-U).
- IPCC 1990, *Climate Change (a) The IPCC Scientific Assessment*, rapport préparé par le 1^{er} Groupe de travail de l'IPCC, publié par J.T. Houghton, G.J. Jenkins et J.J. Ephraïm, Cambridge University Press, (b) *The IPCC Impacts Assessment*, rapport préparé par le 2^e Groupe de travail de l'IPCC, publié par W.J. McG Tegart, G.W. Sheldon, D.C. Griffiths, Australian Governments Publishing Service.
- IPCC 1992, *Climate Change, The Supplementary Report to the IPCC 1990 Scientific Assessment*, rapport préparé par le 1^{er} Groupe de travail de l'IPCC, publié par J.T. Houghton, B.A. Callender et S.K. Varney, Cambridge University Press.
- IPCC 1994, *Radiative Forcing of Climate Change, the 1994 Report of the IPCC Working Group I*, Cambridge University Press.
- IPCC 1995, *The IPCC Second Assessment Report*, Cambridge University Press.
- P.D. Jones, *Recent Warming in global temperature series*, *Geophys. Res Lett*, **21**, 1149-1152, 1994.
- Conseil Mondial de l'Énergie, *Energy for Tomorrow's World*, Kogan Page, London/St. Martin's Press, New York, 1993.

CHANGEMENT DE CLIMAT : DES MODÈLES AUX NÉGOCIATIONS

Raymond Cointe

L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE SE COMPOSE PRINCIPALEMENT D'AZOTE, D'OXYGÈNE ET D'ARGON. TRANSPARENTS AU RAYONNEMENT INFRAROUGE, CES GAZ NE JOUENT AUCUN RÔLE DANS L'EFFET DE SERRE DONT LES AGENTS SONT DES GAZ PRÉSENTS DANS L'ATMOSPHÈRE À DES CONCENTRATIONS TRÈS FAIBLES, MESURÉES EN « PARTIES PAR MILLIONS » (PPMV), C'EST-À-DIRE EN MILLILITRES DE GAZ POUR MILLE LITRES D'AIR. CES GAZ À EFFET DE SERRE SONT LE DIOXYDE DE CARBONE (CO_2), LE MÉTHANE (CH_4), LE PROTOXYDE D'AZOTE (N_2O) ET L'OZONE (O_3) TROPOSPHÉRIQUE. À CETTE LISTE, LES ACTIVITÉS HUMAINES ONT AJOUTÉ D'AUTRES GAZ QUI N'EXISTAIENT PAS À L'ÈRE PRÉINDUSTRIELLE, BIEN CONNUS DU GRAND PUBLIC À CAUSE DU « TROU » DE LA COUCHE D'OZONE, LES CHLOROFLUOROCARBURES (CFC) ET LEURS SUBSTITUTS (HFC, PFC, SF_6 , ETC.).

L'EFFET DE SERRE : LES MÉCANISMES DE BASE

- Le rayonnement solaire incident sur notre planète est en partie réfléchi par l'atmosphère et repart dans l'espace sans affecter sa température, une autre fraction est absorbée par l'atmosphère et contribue à la chauffer, le reste atteint le sol.
- La terre émet de son côté un rayonnement qui, compte tenu de la température de sa surface, se situe dans l'infrarouge (et non dans le visible comme le rayonnement du soleil beaucoup plus chaud) ; les gaz à effet de serre et la vapeur d'eau ont la propriété d'absorber les infrarouges et donc de retenir l'énergie correspondante dans la basse atmosphère.
- S'il n'y avait pas dans l'atmosphère de gaz à effet de serre ni de vapeur d'eau, ce rayonnement infrarouge irait se perdre dans l'espace et la température de l'atmosphère au niveau du sol serait de -18° en moyenne, l'eau serait à l'état de glace, aucune vie ne serait possible.

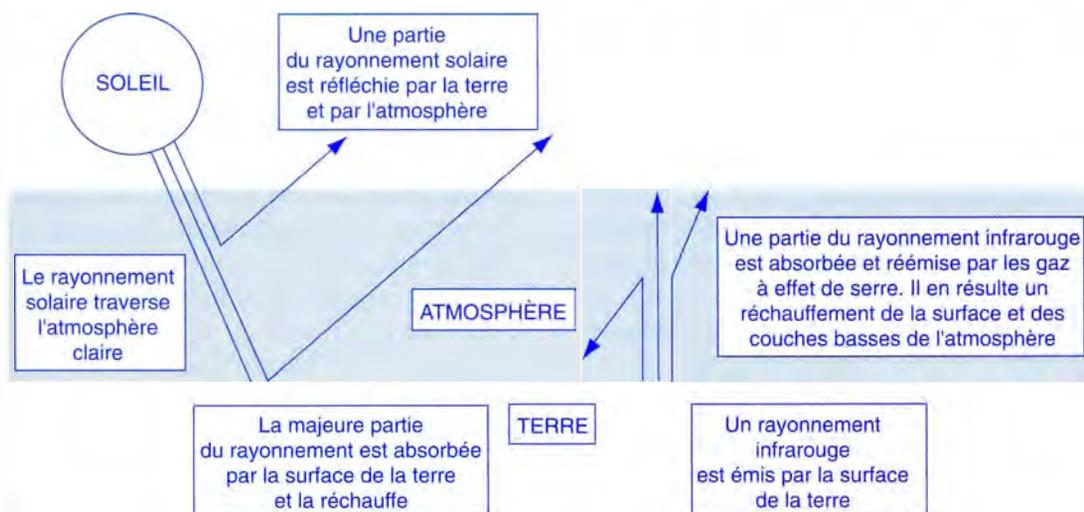
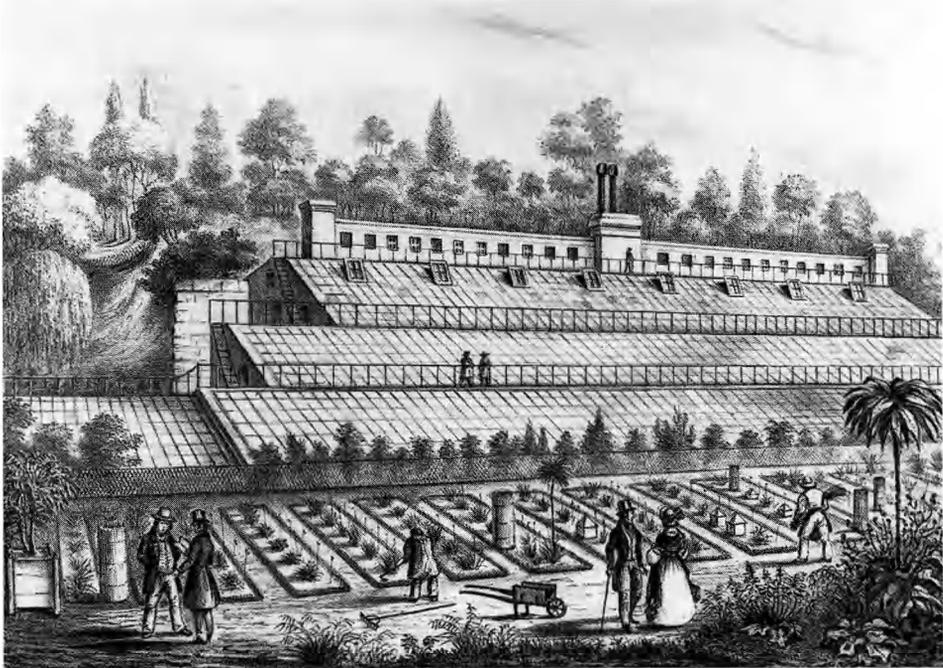


Diagramme simplifié illustrant l'effet de serre. Source : GIEC (1992)



L'ancienne serre de Buffon au Jardin des Plantes, Paris, 1838. Lithographie d'Acarie-Baron.
(Document Muséum National d'Histoire Naturelle)

- L'effet de serre joue un rôle essentiel dans la fixation de la température de la basse atmosphère, grâce à lui, la température moyenne au voisinage du sol est de $+15^{\circ}$ et non -18° .

Ces mécanismes de base sont bien connus, et depuis longtemps. D'où vient donc l'inquiétude ?

D'une part, les gaz à effet de serre sont naturellement très peu abondants, d'autre part, les émissions de polluants gazeux liées à nos activités ont pris une grande ampleur : ces émissions ne sont plus négligeables devant le stock de gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère ; il en résulte donc une modification sensible de la concentration de ces gaz. La concentration de CO_2 , principal gaz à effet de serre, a crû de 30 % depuis l'ère préindustrielle (c'est-à-dire depuis 1750) et même si les émissions de ce gaz étaient maintenues à leur niveau actuel, on estime que cette concentration doublerait presque d'ici la fin du 21^e siècle pour atteindre environ 500 ppmv.

Nous modifions fortement la concentration de l'atmosphère en des gaz qui règlent sa température et, très probablement, cela conduira à un réchauffement global de la planète. Le vrai problème est de savoir à quel rythme ce réchauffement se produira, quelle amplitude il atteindra et comment il se traduira en espace.

L'AVIS DES SCIENTIFIQUES SUR LES RISQUES D'UN CHANGEMENT CLIMATIQUE

Compte tenu du mécanisme de base qui vient d'être décrit schématiquement, que prédisent les scientifiques ? Il n'est pas question de détailler ici l'état des connaissances scientifiques sur l'éventualité d'un changement de climat d'origine anthropique. Il est par contre peut-être instructif de donner quelques éléments du message transmis par les scientifiques aux gouvernements dans le second rapport d'évaluation du GIEC¹ (Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) qui a été approuvé en décembre 1995 et dont les articles de Bert Bolin et de Michel Petit donnent un aperçu plus complet.

Que dit ce rapport ? Il énonce d'abord deux certitudes : la température du globe a augmenté de $0,3$ à $0,6^{\circ}$ au cours du 20^e siècle et les concentrations de gaz à effet de serre s'accroissent sous l'effet des activités humaines. Le modèle simple de l'effet de serre décrit plus haut suggère qu'il pourrait y avoir une relation de cause à effet entre ces deux constats. Si cette relation de cause à effet n'est toujours pas une certitude, les modèles de plus en plus sophistiqués

Le GIEC a été créé par le Programme des Nations Unies sur l'Environnement et l'Organisation Météorologique Mondiale en 1988 dans le but d'évaluer l'information scientifique sur le changement de climat pertinente pour la définition de politiques nationales et internationales. Le GIEC a produit un premier rapport d'évaluation en 1990 et un complément en 1992, ainsi que d'autres documents complémentaires, comme le rapport spécial de 1994. A la demande des gouvernements participant aux négociations liées à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, le GIEC a produit un deuxième rapport d'évaluation qui a été approuvé en décembre 1995. Les articles de Bert Bolin, président du GIEC, et de Michel Petit donnent un excellent aperçu de ce deuxième rapport d'évaluation (voir l'encadré dans l'article d'André Berger).

Pour produire ce deuxième rapport d'évaluation, le GIEC s'est organisé en trois groupes de travail. Le Groupe I (co-

présidé par le Brésil et le Royaume-Uni) a analysé le fonctionnement du système climatique et les changements éventuels qu'il pourrait subir du fait des activités humaines. Le Groupe II (co-présidé par les États-Unis et le Zimbabwe) a évalué les impacts potentiels, les stratégies d'adaptation, et les mesures qui pourraient être adoptées pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le Groupe III (co-présidé par le Canada et la République de Corée) s'est concentré sur les implications économiques globales du changement de climat, ainsi que sur les méthodologies d'analyse coûts-avantages. Chacun des trois groupes a rédigé un rapport et un résumé pour les « décideurs politiques ». Le second rapport d'évaluation du GIEC inclut également un rapport de synthèse spécial sur les conséquences de l'article 2 de la Convention Climat en termes de limitation et de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

construits par les scientifiques (voir à ce sujet l'article de Robert Sadourny) ne l'infirmen pas, loin s'en faut. Le rapport du GIEC considère ainsi pour la première fois comme probable le fait que les activités humaines aient déjà eu un impact sur le climat (« the balance of evidence suggests that there is a discernible human influence on global climate »).

Il affiche enfin un certain nombre de conséquences probables d'un éventuel réchauffement climatique qui, sans être apocalyptiques, ne sont guère rassurantes, surtout pour les nations les moins développées et les écosystèmes les plus vulnérables. De plus, « comme l'évolution envisagée du climat dépasse les limites de nos connaissances empiriques (qui se limitent aux incidences connues des variations des climats du passé), il est de plus en plus probable que l'avenir nous réservera des surprises et des changements rapides inattendus ».

FAUT-IL AGIR DÈS MAINTENANT ?

Compte tenu des incertitudes sur l'ampleur et la rapidité du changement de climat et sur ses conséquences, faut-il engager, dès à présent, une action de prévention peut-être coûteuse et sûrement très difficile à organiser ?

La réponse à cette question sort clairement du domaine de l'expertise scientifique ou technique. La raison qui pousse à y répondre positivement est ce qu'il est convenu d'appeler le « principe de précaution ». Il découle ici des considérations suivantes :

Nous sommes face à un phénomène cumulatif

Plus on attend pour agir et plus brutale devra être l'action. Les experts du GIEC mettent ainsi en avant le fait que « toute stabilisation des concentrations à un moment donné dépendra davantage des émissions cumulées de CO₂ d'origine humaine, de maintenant jusqu'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 davantage les émissions ultérieurement si elles restent plus élevées dans un premier temps ».

Des effets-retard nous cachent

les conséquences futures de nos actes :

- L'océan, qui semble absorber provisoirement une part importante du CO₂ que nous émettons et dont l'inertie thermique ralentit l'échauffement de

1. En anglais IPCC.

QUELQUES ÉTAPES DE LA MOBILISATION INTERNATIONALE SUR L'EFFET DE SERRE

Juin 1988. Conférence mondiale de Toronto.

La communauté scientifique alerte les responsables politiques. La Conférence conclut « qu'il faut absolument stabiliser la concentration atmosphérique de CO₂ » et que « à l'échelle mondiale, le premier objectif devrait consister à réduire les émissions de CO₂ d'environ 20 % de leur valeur de 1988 d'ici à l'an 2005 ».

Novembre 1988. Création du Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC).

Ce groupe d'experts scientifiques doit faire un rapport sur les connaissances concernant le changement de climat, ses impacts et les mesures de prévention et d'adaptation.

Mai 1989. Déclaration de la Haye.

« Créer une autorité mondiale, dotée de vrais pouvoirs de décision et d'exécution pour sauver l'atmosphère, c'est à cela qu'ont appelé 24 pays prêts à déléguer une parcelle de leur souveraineté nationale pour le bien commun de l'humanité toute entière ».

Octobre 1990. Conseil Énergie-Environnement de Luxembourg.

La Communauté Européenne s'engage à stabiliser ses émissions de CO₂ à leur niveau de 1990 en 2000.

Juin 1992. Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

La Convention Climat, adoptée en mai 1992 à New York, est ouverte à la signature lors de la Conférence de Rio.

Mars 1995. Première Conférence des Parties à la Convention Climat à Berlin.

Les Parties à la Convention adoptent le mandat de Berlin devant conduire à l'adoption d'un protocole à la Convention d'ici à 1997.

l'atmosphère, mais accumule une énergie qu'il restituera durablement ;

- La démographie des pays du sud amplifiera fortement nos pollutions. Les deux tiers des émissions actuelles sont le fait du quart de la population terrestre qui vit dans les pays industrialisés. Les trois autres quarts de la population (dont les effectifs vont doubler inexorablement dans le siècle à venir)

s'efforcent de nous suivre sur le chemin du développement. En réduisant nos émissions, nous serions doublement efficaces : nous réduirions notre contribution à l'effet de serre, aujourd'hui dominante, et nous changerions le modèle culturel et technologique que les pays du sud cherchent à copier.

La cinétique du système climatique est telle que le jour où les connaissances scientifiques auront suffisamment progressé pour nous éclairer sur l'ampleur du risque, il sera trop tard pour engager quelque action de prévention que ce soit. Ces considérations, plus le fait que, selon le GIEC, il existe un potentiel non négligeable d'actions « sans regret », c'est-à-dire rentabilisées sans prendre en compte le risque de changement de climat, incitent à engager l'action dès maintenant. Il reste à résoudre les délicats problèmes du niveau de l'effort à consentir et de la façon de le répartir entre les pays et les générations.

L'ORGANISATION DE L'EFFORT INTERNATIONAL : LA CONVENTION CLIMAT

C'est sur la base du principe de précaution que la communauté internationale se mobilise peu à peu pour lutter contre le changement de climat. Outre le travail d'expertise scientifique réalisé par le GIEC, l'action internationale s'est concrétisée au niveau politique par la Convention Climat.

La Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, adoptée en mai 1992, a été ratifiée à ce jour par plus de 150 pays et par la Communauté Européenne. Elle reconnaît la menace de changement climatique et fixe comme objectif ultime « la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » (*article 2*).

Les engagements actuels de la Convention

L'article 4.1. de la Convention fixe les engagements communs à toutes les Parties. Il s'agit entre autres, pour chacune des Parties, de publier régulièrement des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre et d'adopter des programmes nationaux, et de mettre

LES ORGANES DE LA CONVENTION CADRE DES NATIONS UNIES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

L'organe suprême de la Convention est la Conférence des Parties qui se réunit tous les ans. La première Conférence des Parties a eu lieu à Berlin en mars 1995. La Convention dispose également de deux organes subsidiaires : l'organe subsidiaire de mise en œuvre (SBI pour « Subsidiary Body for Implementation ») et l'organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique (SBSTA pour « Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice »).

Des groupes ad hoc ont été mis en place pour traiter de problèmes spécifiques. C'est ainsi que le Groupe ad hoc sur le mandat de Berlin (AGBM pour « Ad hoc Group on the Berlin Mandate »), ouvert à toutes les Parties, a été constitué lors la première conférence des Parties pour négocier un protocole à la Convention d'ici la troisième Conférence des Parties prévue en 1997 à Kyoto au Japon. La Convention dispose d'un Secrétariat qui s'installera à Bonn courant 1996.

en œuvre des mesures de prévention et d'adaptation au changement de climat.

L'article 4.2. fixe les engagements des Parties de l'annexe 1 (pays développés, pays en transition et Communauté Européenne). Ces Parties doivent adopter des politiques et mesures afin de limiter leurs émissions de gaz à effet de serre avec un objectif de retour des émissions de ces gaz, en 2000, à leur niveau de 1990.

Les articles 4.3, 4.4 et 4.5 fixent les engagements des Parties de l'annexe 2 (pays développés et Communauté Européenne). Ces Parties s'engagent à financer les coûts encourus par les pays en développement pour respecter leurs engagements, notamment ceux définis à l'article 4.1.

L'article 4.2.d prévoit que l'adéquation des engagements des pays développés sera examinée à intervalles réguliers « à la lumière des données scientifiques et évaluations les plus sûres concernant les changements climatiques et leur impact ». C'est cet article qui organise le lien entre les décisions politiques, qui incombent à la Conférence des Parties, et l'expertise scientifique, réalisée par le GIEC.

La Convention Climat n'est pas figée, mais doit évoluer. Si les engagements qu'elle fixe aujourd'hui sont, somme toute, peu contraignants, il ne faut pas sous-estimer les contraintes qui pourraient en résulter dans l'avenir.

Le mandat de Berlin

Lors de la première conférence des Parties à Berlin, en mars 1995, les engagements actuels ont été reconnus inadéquats, et mandat a été donné de négocier un protocole ou un autre instrument légal de sorte que :

- Les pays développés Parties et/ou les autres Parties visées à l'annexe 1 « élaborent des politiques et des mesures et fixent des objectifs quantifiés de limitation et de réduction selon des échéances précises – 2005, 2010, 2020 par exemple – pour leurs émissions anthropiques par leurs sources et l'absorption par leurs puits des gaz à effet de serre non réglementés par le protocole de Montréal... »
- De nouveaux engagements ne soient pas énoncés pour les Parties non visées à l'annexe 1, mais que celles-ci « réaffirment les engagements déjà énoncés à l'article 4.1 et continuent à progresser dans l'exécution de ces engagements afin d'arriver à un développement durable ».

Le mandat de Berlin a conduit à la mise en place d'un groupe de négociation, le groupe ad hoc du mandat de Berlin (AGBM), qui doit aboutir à l'adoption d'un protocole (ou d'un autre instrument légal) à la troisième Conférence des Parties en 1997.

POSITIONS DES PARTIES EN PRÉSENCE

A l'heure actuelle, l'Union européenne plus un petit nombre d'autres pays européens (Suisse, Norvège) travaillent activement pour faire avancer les négociations en vue de l'adoption d'un protocole. L'Union européenne est attachée à une approche combinée incluant des engagements concernant des politiques et mesures de prévention du changement de climat ainsi que des objectifs quantifiés de limitation et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Alors que la Convention ne fixait qu'un engagement sur les niveaux d'émissions, cette approche combinée est reflétée dans le mandat de Berlin.

Cette position en pointe de l'Union européenne ne doit pas faire oublier qu'au sein même de l'Union les positions diffèrent quelque peu quant à la stratégie à adopter (la position française est décrite dans l'article de Jean-Jacques Becker). Ces différences d'appréciation proviennent en particulier des

Juin 1991. Mémoire français sur la limitation des gaz à effet de serre.

La France préconise l'approche fiscale (taxation des émissions de CO₂) pour respecter l'engagement de la Communauté de stabiliser les émissions de CO₂ en 2000 à leur niveau de 1990. Elle affiche l'objectif de stabiliser ses émissions de CO₂ au niveau de 2 tonnes de carbone, par habitant et par an, en 2000.

Juillet 1991. Présentation du rapport du Groupe Interministériel sur l'Effet de Serre présidé par Y. Martin.

Le rapport présente une hiérarchisation des actions à engager en fonction de leur coût à la tonne de carbone dont l'émission peut être évitée.

Juin 1992. Création de la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre.

Placée sous l'autorité du Ministre de l'Environnement, la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre dispose d'un Secrétariat autonome depuis mai 1995. Elle est

chargée de coordonner l'action nationale de lutte contre l'effet de serre et de préparer les positions à défendre dans la négociation internationale.

Juin 1992. La France signe la Convention Climat à la Conférence de Rio sur l'environnement et le développement.

« Un jour on nous dira : vous saviez tout cela, qu'avez-vous fait ? Mesdames et Messieurs, c'est le vrai sujet de notre conférence » déclare le Président de la République.

Mars 1994. La France ratifie la Convention Climat.

Février 1995. La France rend publique sa communication nationale.

La France prévoit que ses émissions nettes de CO₂ devraient augmenter de 7 % entre 1990 et 2000. Cette hausse devrait être compensée par la baisse de ses émissions de N₂O de sorte que ses émissions agrégées de gaz à effet de serre devraient, au total, rester à leur niveau de 1990.

circonstances nationales particulières dans le contexte des engagements actuels pris au titre de la Convention Climat : les pays de l'Union sont dans des situations très différentes quant à leur point de départ et à leurs marges respectives de progrès pour l'avenir. La Suède et la France, très faiblement émettrices de CO₂ par habitant ou par point de PIB en 1990, notamment parce qu'elles ont déjà épuisé l'important potentiel de réduction du secteur électrique, s'estiment désavantagées par la formulation actuelle qui fixe une contrainte sur les émissions globales d'un pays une année donnée, actuellement 2000, par rapport aux émissions globales de 1990 indépendamment des efforts précédemment accomplis. L'Allemagne et le Royaume-Uni, au contraire, auront peu de difficultés à limiter et réduire leurs émissions globales par rapport à celles de 1990.

Un grand nombre de pays en développement, sous la pression des petits états insulaires (AOSIS), sont également moteurs, en mettant l'accent sur des objectifs quantifiés plus contraignants pour les Parties à l'annexe 1 et sur le fait que le mandat de Berlin ne doit conduire à aucun nouvel engagement pour eux. Les États-Unis mettent en avant la nécessité de l'analyse et de l'évaluation des politiques et mesures, prévue au mandat de Berlin, en préalable

à toute négociation ; ils sont relayés par certains pays producteurs de pétrole (Arabie Saoudite, Koweït, Nigeria, etc.) qui demandent que cette évaluation prenne en compte les impacts négatifs sur les pays en développement de ces politiques et mesures. Par ailleurs, les États-Unis annoncent qu'ils ne pourront tenir l'engagement de retour de leurs émissions en 2000 à leur niveau de 1990 et proposent que les engagements pour l'après 2000 soient formulés de manière différente : ils sont hostiles à des objectifs quantifiés de réduction contraignants et préfèrent des engagements sur des politiques et mesures choisies librement au sein d'un menu agréé. Le Canada et l'Australie semblent assez proches de cette position et mettent l'accent sur l'impact négatif, sur des économies dépendantes des exportations d'énergie fossile, d'une réduction de la demande mondiale d'énergie fossile qui serait la conséquence d'une politique vigoureuse de prévention du changement climatique.

COMMENT LES CHOSES VONT-ELLES ÉVOLUER ?

Comme on le voit, les négociations à venir pour faire évoluer la Convention Climat risquent d'être



La déforestation, c'est du bois qui part en fumée et du CO₂ en plus...

difficiles : les positions des pays développés sont très différentes et toutes les interprétations du mandat de Berlin sur le caractère plus ou moins contraignant des objectifs quantifiés et des politiques et mesures existent. Le délicat problème de la répartition de la charge – la « différenciation des objectifs » dans le langage de la Convention – reste entier. Enfin, la façon dont les pays en développement, et tout particulièrement ceux dont le développement actuel est le plus rapide, pourront participer progressivement à l'effort de prévention du changement de climat, reste à définir.

LE CHANGEMENT DE CLIMAT SUR INTERNET

Le serveur du Secrétariat de la Convention Climat (<http://www.unep.ch/iucc.html>) permet d'obtenir toutes les informations officielles sur la Convention (négociation en cours, communications nationales des Parties, etc.).

Pour tout savoir sur ce qui se passe en coulisse, le serveur des ONG « climat » (<http://www.igc.apc.org/climate/Eco.html>) est imbattable : il donne accès à Eco, le journal couvrant les négociations en cours.

Le GIEC dispose aussi d'un serveur (<http://www.unep.ch/ipcc/ipcc-0.html>) qui permet en particulier d'obtenir les résumés du deuxième rapport d'évaluation. Plusieurs serveurs français donnent également des informations scientifiques sur le changement de climat, par exemple ceux du Laboratoire de Météorologie Dynamique (<http://www.lmd.ens.fr/>), de Météo France (<http://www.meteo.fr/index.html>) et du Groupe de Recherche OIKIA (<http://www.cired.msh-paris.fr>).

Pendant que ces difficiles négociations se mettent en place, les experts du GIEC ont estimé que l'objectif ultime de la Convention ne pourra être atteint que si la moyenne mondiale d'émission de CO₂ par habitant (1,3 tC/an en tenant compte des émissions dues à la déforestation) n'augmente pas ou peu durant le prochain siècle et que si elle diminue fortement après. Cela suppose une diminution très forte des émissions des pays développés et une maîtrise de l'augmentation des émissions des pays en développement. En effet :

- les pays développés ont des émissions par tête d'environ 2,8 tC par an (1,8 tC pour la France). Les pays en développement des émissions par tête d'environ 0,5 tC par an ;
- la stabilisation de la concentration de gaz carbonique au double de la concentration pré-industrielle pourrait conduire à une augmentation de température de 1,5 à 4,5°. Un changement de température à un rythme aussi rapide n'a jamais été observé au cours des 10 000 dernières années ;
- même si les pays développés réduisaient leurs émissions de 10 à 20 % par décennie à partir de 2000, cette stabilisation ne serait possible que si les pays en développement n'allaient pas au-delà du doublement de leurs émissions par tête.

Confronter la réalité des négociations aux évaluations des scientifiques montre qu'il y a un défi réel à relever dont le mandat de Berlin ne pourra constituer qu'une étape. Si à l'évidence tout ne pourra être résolu tout de suite, il importe de faire en sorte que cette étape nous mette sur la bonne voie. ■

LES MODÈLES CLIMATIQUES SE PERFECTIONNENT

André Berger

VA-T-ON VERS UN RÉCHAUFFEMENT GLOBAL DE NOTRE PLANÈTE ? CETTE QUESTION EST IMPORTANTE, VOIRE VITALE POUR LA SOCIÉTÉ, À CAUSE DES CONSÉQUENCES QUE CE RÉCHAUFFEMENT POURRAIT AVOIR SUR LA HAUSSE DU NIVEAU DES MERS, SUR L'INTENSIFICATION DES SÉCHERESSES ET SUR L'AUGMENTATION DU NOMBRE D'INONDATIONS, DES CYCLONES ET AUTRES OURAGANS. ELLE JUSTIFIE DONC PLEINEMENT LES RÉUNIONS DE RIO, DE BERLIN ET DE ROME QUI SE SONT TENUES RESPECTIVEMENT EN JUIN 1992, MARS 1995 ET DÉCEMBRE 1995. NOTRE CAPACITÉ À Y RÉPONDRE DÉPEND DE NOTRE APTITUDE À MODÉLISER LE COMPORTEMENT DU SYSTÈME CLIMATIQUE ET À REPRODUIRE LES VARIATIONS CLIMATIQUES DU PRÉSENT ET DU PASSÉ, SEULES BASES À PARTIR DESQUELLES NOUS POUVONS VÉRIFIER LES LOIS FONDAMENTALES QUI RÉGISSENT LE COMPORTEMENT DU SYSTÈME CLIMATIQUE (VOIR L'ENCADRÉ « LE PASSÉ CLEF DU FUTUR »).

Mais le système climatique est extrêmement complexe ; cette tâche demeure donc difficile, même après des années de recherches, et les résultats, encore incomplets, doivent être analysés avec prudence.

D'où vient cette difficulté ? Les modèles utilisés par les climatologues sont des versions des modèles de prévision numérique du temps étendus au climat. Les études climatiques portant sur des échelles de temps allant de la saison aux siècles, les composantes du système à réponse lente doivent être prises en compte. Il s'agit donc d'adjoindre aux modèles atmosphériques des modèles d'océan

dont la complexité est au moins aussi grande. De plus, la glace et ses interactions avec l'océan et l'atmosphère doivent être incluses, ce qui ne fait qu'ajouter à la possibilité d'erreurs. Finalement, même si les modèles étaient parfaits, nous ne pourrions simuler le climat du passé que si nous connaissions les facteurs, à la fois naturels et induits par l'homme, qui ont déjà contribué à le changer.

DE NOUVEAUX FACTEURS INTERVIENNENT

Jusque récemment, les simulations du climat des cent dernières années ne prenaient en compte que l'augmentation des gaz à effet de serre dont le dioxyde de carbone (CO₂) est le plus connu ; rappelons que, sous la pression des activités humaines, la concentration en CO₂ dans l'air est passée de 280 ppmv (parties par million ; ou 0,028 %) avant la révolution industrielle du 18^e siècle, à 360 ppmv en 1995, une augmentation cent fois plus rapide que l'évolution naturelle. Cette augmentation de la teneur en CO₂ et autres gaz à effet de serre tels que le méthane et les chlorofluorocarbures, contribue à piéger plus d'énergie infrarouge émise par la Terre avec, pour conséquence, une augmentation significative de la température en surface et ce, à cause des rétroactions liées à la vapeur d'eau et au pouvoir réflecteur de la planète. A présent, nous savons que d'autres facteurs jouent aussi un rôle important, en particulier les sulfates. Ces petites particules, elles aussi émises lors de la combustion du charbon et du pétrole, ont un effet opposé à celui des gaz à effet de serre, du moins à l'échelle régionale. Elles réfléchissent, en effet, le rayonnement solaire et accroissent le pouvoir réflecteur des nuages, deux phénomènes qui contribuent à refroidir le climat, particulièrement dans les régions

les plus industrialisées du monde. La répartition géographique de ce refroidissement est très différente de celle du réchauffement dû aux gaz à effet de serre (celui-ci affecte en effet toutes les régions de la Terre) et rend leur effet combiné plus complexe encore.

Qu'en est-il donc des variations de notre climat au cours des siècles derniers et de notre aptitude à les expliquer ? Les mesures effectuées au cours des cent dernières années montrent clairement un réchauffement global qu'on estime être de un degré Celsius environ (voir page 5 la *figure 1* de l'article de Bert Bolin). Les années récentes furent les plus chaudes jamais observées, l'éruption du Pinatubo en 1991, nous ayant toutefois forcés à un répit temporaire.

DES RÉSULTATS CONVERGENTS

L'année 1990 avait battu tous les records de chaleur ; subissant l'effet des poussières volcaniques, le climat des années 1991 et 1992 fut de quelques dixièmes de degré plus froid, mais (comme prévu par les modèles dès fin 1991) les années 1993, 1994 et surtout 1995 montrent un retour très net au réchauffement. Selon le Climatic Research Unit (CRU) de l'Université de East Anglia en Angleterre, unité qui analyse de façon critique les données mondiales, 1995 constitue un record absolu de chaleur. Jusque début 1995 tous les laboratoires éprouvèrent une difficulté réelle à extraire de ces observations le signal du réchauffement global, réchauffement prévu par les modèles suite à l'intensification de l'effet de serre naturel par les activités humaines (à l'exception du Professeur James E. Hansen du NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS) à New York. Le 23 juin 1988, il déclarait en effet à la Commission Sénatoriale pour l'énergie et les ressources naturelles des États-Unis d'Amérique que son groupe attribuait avec une certitude de 99 % la hausse des températures à une tendance véritable au réchauffement compatible avec l'intensification de l'effet de serre suite aux activités humaines.). La raison principale de ce problème était liée à la difficulté de tenir compte de tous les facteurs qui influencent le climat de la Terre et, en particulier, de bien simuler l'effet des poussières. Cette difficulté a été levée en 1995 grâce

aux résultats obtenus par l'Institut de Météorologie Max Planck de Hambourg (MPI) et le Centre Hadley du Royaume-Uni. Leurs modèles, beaucoup plus complets que les précédents, confirment les résultats obtenus au cours des deux dernières années par d'autres laboratoires, tels le GISS, le CRU, le Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) aux U.S.A. et l'Institut d'Astronomie et de Géophysique Georges Lemaître à Louvain-la-Neuve. Toutes ces simulations montrent, en effet, que le climat des cent dernières années est beaucoup mieux représenté si les modèles tiennent compte à la fois des gaz à effet de serre et des poussières.

Les simulations du Hadley Center, publiées en août 1995 et basées sur le scénario « Maintien du statu quo (Business as Usual) » du Groupe d'experts intergouvernemental pour l'étude du changement climatique, montrent que d'ici l'an 2050, le climat se réchaufferait de 0,2 °C par décennie si on tenait compte des poussières, une valeur à comparer à 0,3 °C si on considérait seulement l'effet des gaz à effet de serre. De plus, d'ici la fin du 21^e siècle, le réchauffement l'emporterait de plus en plus sur l'effet des poussières, les gaz à effet de serre continuant à s'accumuler dans l'atmosphère contrairement aux poussières dont le temps de résidence dans l'air est nettement plus court (une semaine par rapport à une centaine d'années pour le CO₂). Le modèle prévoit aussi plus de précipitations dans les latitudes moyennes et dans les tropiques, mais une sécheresse accrue dans les latitudes subtropicales. L'augmentation du niveau des océans atteindrait 15 cm d'ici 2050, 8 à 9 cm venant de l'expansion thermique des océans suite à leur réchauffement, et le reste, de la fonte des glaces.

LES OBSERVATIONS CONFIRMENT LE RÉALISME DES MODÈLES

En juillet 1995, l'Institut Max Planck de Hambourg publiait des résultats similaires confirmant ainsi leur déclaration précédente. En février 1995, les chercheurs du MPI annonçaient en effet que le réchauffement du 20^e siècle était dû essentiellement aux activités humaines. En comparant simulations et observations, ils concluaient que la probabilité que le réchauffement observé soit dû à des causes



Un réchauffement pourrait accroître le nombre d'icebergs. (Photo A. Dupas)

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*

Réunis à Rome, du 11 au 15 décembre 1995, les experts de l'Organisation des Nations Unies ont accepté officiellement les conclusions du Groupe d'Experts Intergouvernemental pour l'Étude du Changement climatique (IPCC en anglais, Intergovernmental Panel on Climate Change). Le rapport scientifique de ce groupe sur lequel ces conclusions sont basées, décrit les facettes multiples de la science de l'intensification de l'effet de serre, avec ses certitudes et ses incertitudes. Objet d'une discussion finale à Madrid du 27 au 30 novembre 1995, ce texte précise que :

1. depuis 1750, le taux de gaz carbonique dans l'atmosphère a augmenté de 30 % et celui du méthane de 145 % ;
2. depuis la fin du 19^e siècle, la Terre s'est réchauffée de 0,5 °C environ et on a assisté à une montée du niveau des océans de 10 à 25 cm ;
3. après avoir noté un ralentissement dans l'accumulation des gaz à effet de serre (GES) au cours des années 90, la tendance serait aujourd'hui inverse et ramènerait la planète à la situation des années 80 en matière de taux de croissance des GES ;
4. toutes les données semblent confirmer l'effet notable des activités humaines sur ces variations, même s'il demeure de nombreuses incertitudes dans leur évaluation et surtout dans les conséquences qui peuvent s'ensuivre ;

5. d'ici 2100, selon différents scénarii liés au développement de la société, le réchauffement pourrait atteindre 1 à 3,5 °C et la mer monter de 15 à 95 cm. La hausse des températures devrait provoquer des cycles hydrologiques plus vigoureux, c'est-à-dire des sécheresses et des inondations plus sévères et une augmentation de l'intensité des précipitations.

Même si des incertitudes demeurent dans la modélisation du climat, la confiance que nous avons dans ces modèles s'accroît.

Elle a conduit l'IPCC, dans son rapport de synthèse 1995, à conclure en ces termes : « La comparaison entre le changement observé dans la température moyenne globale et le résultat des simulations suggère que le réchauffement des cent dernières années n'est vraisemblablement pas dû aux seules causes naturelles et que les caractéristiques géographiques d'un réchauffement dû aux activités humaines est identifiable dans les observations du climat ».

Le texte de synthèse ratifié à Rome engage à présent les décideurs politiques. Ils sont désormais tenus de tenter de stabiliser, voire de réduire, les émissions de gaz à effet de serre afin de minimiser les conséquences de l'intensification de l'effet de serre naturel par les activités humaines.

Le climat a toujours changé et est appelé à faire de même dans le futur. Pendant 90 % de son passé, la Terre a connu un climat plus chaud qu'actuellement. Depuis 2 à 3 millions d'années, elle est entrée dans une de ces phases exceptionnelles de son histoire qu'est un âge glaciaire. Au sein de cet âge glaciaire, nous subissons un répit, venant juste de vivre l'optimum climatique de l'Holocène il y a quelque 6000 ans.

Bien que nous commençons à comprendre le pourquoi et le comment de ces variations du climat, le présent nous interroge doublement car, depuis la révolution industrielle du 18^e siècle, à l'évolution naturelle du climat vient s'ajouter l'impact des activités humaines.

Mais pourquoi la connaissance du passé est-elle importante pour la perception du futur ? En plus de la satisfaction bien légitime de l'étude de notre propre histoire, la reconstruction des climats du passé élargit considérablement notre banque de données instrumentales et permet aux théoriciens du climat de tester l'efficacité des modèles qu'ils utilisent pour simuler des situations climatiques de diverses natures.

Au cours des 150 dernières années, l'homme a accumulé une série impressionnante d'observations faites avec des instruments de plus en plus sophistiqués, allant des premiers thermomètres et baromètres du XVII^e siècle aux appareils électroniques de haute technicité et autres satellites de la seconde moitié du XX^e siècle. Ces observations n'illustrent malheureusement que des situations climatiques plus ou moins similaires à celles du présent. Bien que la variabilité interannuelle puisse être importante, la diversité climatique de la période instrumentale est faible. Si nous prévoyons que des changements importants peuvent se produire au cours des siècles à venir, il est nécessaire que cette banque de données soit

élargie pour inclure d'autres types de climat, tels ceux qui caractérisent les glaciaires, par exemple celui d'il y a 20.000 ans, les interglaciaires, de l'Holocène et de l'Eemien en particulier, et autres changements abrupts tels que ceux qui caractérisent la dernière déglaciation et le pléniglaciaire.

La paléoclimatologie a clairement démontré son habileté à reconstruire les grandes caractéristiques de telles situations climatiques. Elle permet dès lors à la communauté scientifique de découvrir la variabilité naturelle du climat aux échelles de temps allant de l'année – grâce aux carottes de glace – à des centaines de milliers d'années et ce, pour les diverses régions géographiques de la Terre.

Bien qu'il n'existe vraisemblablement pas d'analogues réels pour le climat des prochains siècles, dans les archives géologiques, ces données sont fondamentales car elles jouent un rôle-clef dans la compréhension des mécanismes qui régissent l'évolution de notre climat. La fiabilité des modèles calibrés sur le climat actuel et leur capacité de « prédire » des climats nettement différents du présent – tels que ceux que nous entrevoyons pour le futur – peuvent, en effet, être testées dans plusieurs situations climatiques différentes à partir des données paléoclimatiques. De plus, la reconstruction de séries climatiques temporelles permet d'analyser la corrélation et le déphasage entre les diverses variables et les différents endroits. Elle permet aussi d'exprimer certaines hypothèses sur les relations de causes à effets. Ces hypothèses sont alors testées à partir de simulations numériques chargées de reproduire l'évolution du système climatique soumis à des continues perturbations, telles que celles liées aux activités humaines ou à la déformation de l'orbite de la Terre.

naturelles seulement était inférieure à cinq chances sur cent. Cette étude et celle du LLNL furent les premières à comparer la variabilité du climat calculée à partir de modèles océan-atmosphère couplés à la structure géographique du réchauffement observé, ce qui leur permit d'établir l'influence réelle des émissions anthropiques des gaz à effet de serre et autres poussières sur le climat.

Toutefois, beaucoup de problèmes restent encore à résoudre tels que ceux liés à l'influence des nuages, de la circulation océanique, des réactions chimiques entre les gaz dans l'air, du cycle du carbone et de la stabilité des calottes polaires. De plus, de nombreuses simulations devront être effectuées pour tenir compte d'autres scénarios d'explosion

démographique et de croissance économique. Il n'en demeure pas moins qu'un pas important vient d'être franchi, confirmant le réalisme des modèles à partir des observations. Un coin du voile masquant l'effet de l'homme sur le climat vient d'être levé, laissant filtrer un rayon de crédibilité. Il reste à espérer que cette découverte redynamisera la recherche sur le climat et surtout incitera les décideurs à soutenir et à encourager les chercheurs dans ce domaine. ■

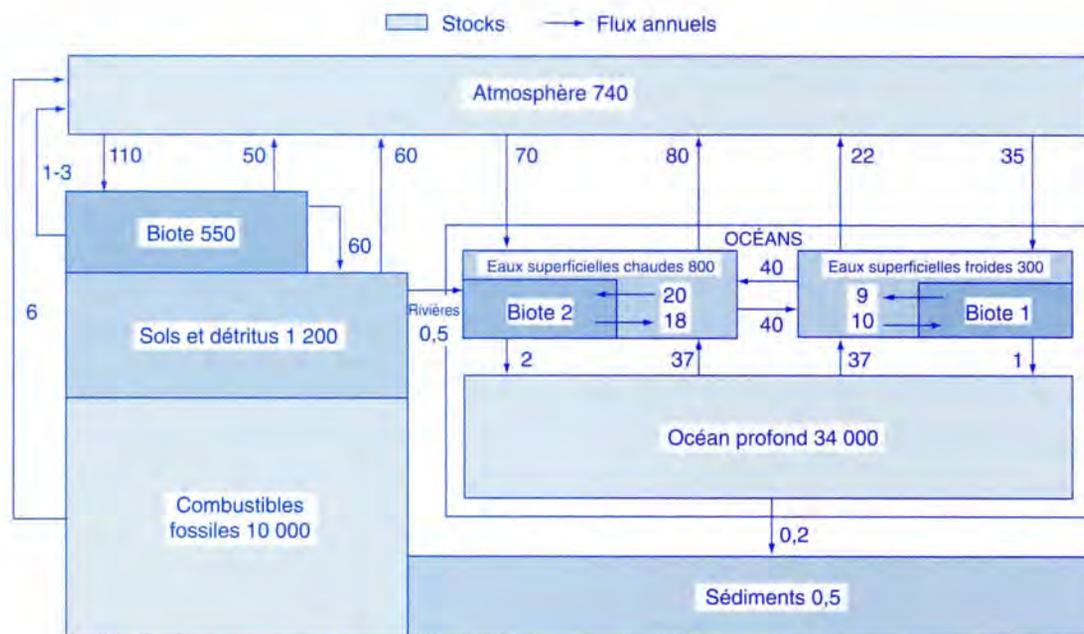
* Voir l'encadré p. 15 dans l'article de Raymond Cointe.

MODÉLISER L'EFFET DE SERRE

Robert Sadourny

TOUTE MODÉLISATION DU CLIMAT TERRESTRE REPOSE SUR UNE DÉFINITION PRÉCISE, NÉCESSAIRE-
MENT RÉDUCTRICE, DU SYSTÈME CLIMATIQUE,
LIMITANT CE SYSTÈME À UN ENSEMBLE DE
MILIEUX ET DE PROCESSUS PERTINENTS,
GÉRABLES ET DANS LA MESURE DU POSSIBLE,
EXHAUSTIFS POUR LE PROBLÈME CONSIDÉRÉ. LA
CIRCULATION GÉNÉRALE DE L'ATMOSPHÈRE, LE
CYCLE DE L'EAU, LE RAYONNEMENT ATMOSPHÉ-
RIQUE, MAIS AUSSI LA CIRCULATION GÉNÉRALE
DE L'OcéAN, LA DYNAMIQUE DES GLACES DE
TERRE ET DE MER, LES ÉCHANGES AVEC LES SUR-
FACES CONTINENTALES SONT DES PROCESSUS
PHYSIQUES À PRENDRE NÉCESSAIREMENT EN
COMPTE, PUISQU'ILS AGISSENT DE FAÇON
DIRECTE SUR LA DISTRIBUTION DES TEMPÉRA-
TURES ET DES PRÉCIPITATIONS.

Mais s'il s'agit de modéliser l'effet de serre, c'est à dire l'effet radiatif d'un certain nombre de constituants mineurs comme le dioxyde de carbone, l'ozone, le méthane, le protoxyde d'azote ou les fluorocarbures, il sera naturel d'inclure dans le système, au moins dans un deuxième temps, la physicochimie atmosphérique et ses interactions avec le climat : non seulement l'impact radiatif des constituants mineurs, mais aussi le contrôle de la chimie atmosphérique par la température et le cycle de l'eau. À terme également, il faudra inclure dans les modèles les processus biologiques qui contrôlent notamment le cycle du carbone dans l'atmosphère et dans l'océan, et qui en même temps sont contrôlés par le climat terrestre et réagissent directement sur lui, par exemple au niveau des couverts végétaux qui régulent les échanges d'eau et d'énergie entre le sol et l'atmosphère. Nous sommes donc en présence d'un problème assez largement ouvert, dans lequel la modélisation ne peut avancer que très progressivement, par élargissements successifs.



Le cycle du carbone. Source : Edmonds et al. (1993)

UNE HIÉRARCHIE DE MODÈLES

La première approche consiste à restreindre fortement le système en fixant a priori une grande quantité de variables. Un premier critère est le choix des temps caractéristiques. Le taux de croissance des constituants mineurs, notamment du CO_2 atmosphérique (0,5 % par an), ainsi que le temps de réponse thermique des océans imposent, pour le problème du réchauffement par effet de serre, des constantes de temps minimales de l'ordre de quelques décennies. Si l'on s'intéresse à ces échelles de temps, les calottes glaciaires, dont les constantes de temps dynamiques sont de l'ordre du millier d'années, peuvent être a priori considérées comme fixes ; mais cette hypothèse est révisable dans le cas d'un réchauffement important qui déstabiliserait par exemple la partie ouest (partiellement immergée) de la calotte Antarctique. Le deuxième critère est pragmatique, et vise à limiter le degré de complexité du modèle en découplant certains processus comme l'évolution de la végétation et la physicochimie. Ainsi, l'incidence climatique des injections de gaz à effet de serre est aujourd'hui traitée sur la base de simples modèles physiques, indépendamment du cycle du carbone ; la végétation est figée dans son état actuel ; la perturbation du CO_2 atmosphérique est donnée a priori, soit sous forme de saut (problème-type de l'impact d'un doublement du CO_2), soit sous forme de scénarios d'évolution construits empiriquement à partir de modèles simples de développement économique et démographique. Enfin, un degré de simplification supplémentaire consiste à geler certains processus du modèle physique lui-même.

On aboutit ainsi à une hiérarchie de modèles allant du relativement simple à l'extrêmement complexe. Le plus simple des modèles est le modèle unidimensionnel dit radiatif-convectif, qui prédit le profil vertical de l'atmosphère en équilibre avec un océan simplifié sous-jacent, pour une distribution donnée des gaz à effet de serre ; ces modèles ne traitent pas les dépendances et les échanges horizontaux, leurs variables représentent des valeurs moyennes sur la planète tout entière, sans prise en compte du cycle saisonnier. Au niveau suivant de complexité, les modèles bidimensionnels décrivent les structures verticales et méridiennes, moyennées en longitude,

de l'atmosphère et de l'océan. Contrairement aux premiers, ces modèles sont capables de simuler les variations saisonnières ; mais ils posent des problèmes délicats car ils doivent tenir compte, à chaque latitude, de la proportion d'océan et de continent, et simuler les échanges méridiens d'énergie et de moment cinétique, associés à des perturbations longitudinales qu'ils ne peuvent traiter explicitement. Au delà, on arrive aux modèles tridimensionnels couplés des circulations générales atmosphérique et océanique, qui se différencient encore les uns des autres par le degré de complexité du traitement de l'océan.

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE COMME DÉPLACEMENT D'ÉQUILIBRE

Une des difficultés de l'étude de l'impact d'une augmentation des gaz à effet de serre est que celui-ci se superpose par la force des choses à des variations naturelles du climat, dont certaines peuvent avoir un temps caractéristique analogue : seule la modélisation peut séparer les deux effets. Les variations naturelles du climat qui se produisent aux échelles de temps de quelques décennies sont principalement attribuables à des oscillations de la circulation profonde de l'océan. On peut s'affranchir de cette cause de variabilité en ayant recours à des modèles couplés atmosphère-océan dans lesquels la circulation océanique est figée dans ses caractéristiques actuelles, le seul moteur des variations thermiques de l'océan étant la pénétration, dans la couche mélangée superficielle, de la chaleur accumulée dans les basses couches de l'atmosphère par l'effet de serre additionnel.

Le cadre conceptuel cohérent avec cette simplification est de considérer le climat actuel comme un état d'équilibre, et une augmentation donnée des gaz à effet de serre comme une perturbation qui va simplement déplacer cet équilibre. Le cas d'école pour ce type d'approche, abondamment étudié par les modélistes climatologues, est l'impact d'un doublement de CO_2 . La figure 1 (Le Treut *et al.*, 1994) montre, en moyenne annuelle, le réchauffement en surface et le changement des précipitations associés au doublement du CO_2 ; on note en particulier l'assèchement des subtropiques, et le maximum de réchauffement aux hautes latitudes, où l'effet de

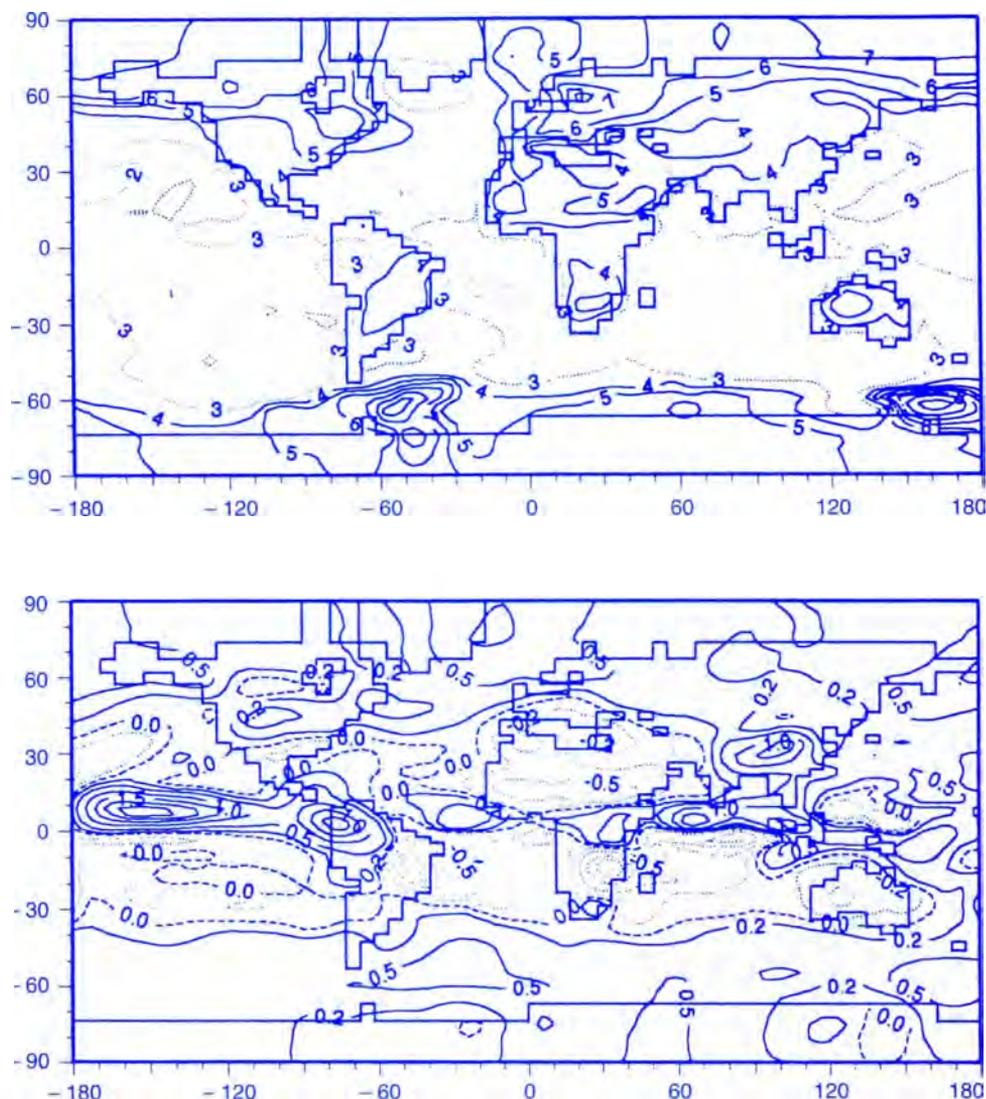


Figure 1
Déplacement d'équilibre du climat lors d'un doublement du CO₂ atmosphérique, simulé par Le Treut et al. (1994). a : Réchauffement moyen annuel à la surface. b : Variation des précipitations moyennes annuelles.

serre est renforcé par la fonte des neiges et l'accroissement d'absorption du rayonnement solaire qui s'ensuit. Il convient bien sûr d'être très prudent dans l'interprétation de ces résultats qui, du fait de la simplification de la réponse océanique, ne sont en aucun cas des prévisions, mais plutôt des indicateurs de la sensibilité du climat aux perturbations radiatives, indépendamment des grandes oscillations de la circulation profonde de l'océan. En d'autres termes, ce type de calcul permet d'estimer la dérivée du climat vis-à-vis des perturbations radiatives, mais il est incapable de décrire la réponse du

climat à des perturbations fortes, capables de faire basculer la circulation profonde de l'océan dans un régime différent de l'actuel.

SIMULATIONS TRANSITOIRES

Si l'on a affaire à une forte perturbation radiative, ou si l'on s'intéresse à l'évolution transitoire du climat et, dans la mesure du possible, à sa prévision, on est forcé de prendre en compte les changements de la circulation profonde de l'océan. On fait alors

appel aux modèles couplés atmosphère-océan, avec une représentation réaliste des glaces de mer et de la circulation profonde thermohaline (contrôlée par les variations de densité associées aux variations de température et de salinité). Le régime actuel de l'océan est marqué notamment par la formation d'eau profonde dans la mer de Norvège : l'eau froide à la surface s'alourdit encore en se chargeant du sel expulsé par la glace de mer en formation, et s'écoule vers les profondeurs ; cette subsidence aux hautes latitudes alimente un courant de fond dirigé vers l'équateur, et est elle-même alimentée par un courant de surface en provenance des Caraïbes, qui vient réchauffer les hautes latitudes de l'océan Atlantique. S'il réchauffe suffisamment les hautes latitudes, un effet de serre additionnel peut interrompre la formation d'eau profonde, supprimant ainsi la circulation thermohaline et l'apport de chaleur qui en résulte sur l'Atlantique nord. Ce type de comportement a été mis en évidence par Manabe *et al.* (1994) qui, au moyen d'un modèle couplé océan-atmosphère, ont simulé l'effet d'une augmentation progressive de CO_2 de 0,5 % par an, dans le cas où cette augmentation est stoppée au bout de 70 ans au double du CO_2 actuel (expérience $2 \times \text{CO}_2$, figure 2) et dans le cas où cette augmentation n'est stoppée qu'au bout de 140 ans au quadruple du CO_2 actuel (expérience $4 \times \text{CO}_2$, figure 2). On voit que dans le premier cas, la circulation thermohaline est d'abord perturbée, mais retourne finalement à son régime initial ; dans le deuxième cas, on assiste à un changement de régime, avec disparition pure et simple de la circulation thermohaline.

Ce type d'expérience numérique est intéressant car il permet de mettre en évidence les processus potentiellement à l'œuvre dans les changements climatiques. L'autre domaine d'utilisation des modèles couplés océan-atmosphère est leur application à la simulation des variations décennales du climat observé. On dispose aujourd'hui d'estimations assez précises de l'évolution de la température moyenne à la surface du globe depuis 1860 (voir les articles d'André Berger et de Bert Bolin dans ce numéro). On connaît aussi précisément l'évolution parallèle des gaz à effet de serre et d'autres caractéristiques importantes pour le climat, comme la charge atmosphérique en aérosols soufrés. C'est évidemment un excellent test pour les modèles que

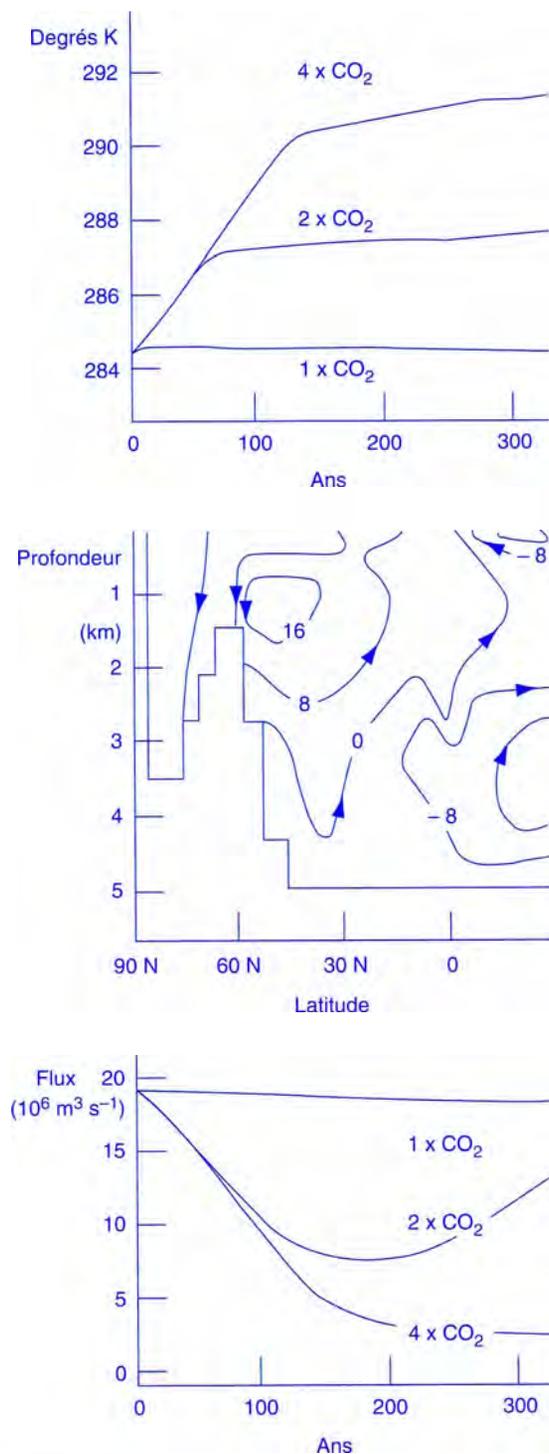


Figure 2

a : Réchauffement moyen à la surface simulé par Manabe et al. (1994) dans leurs expériences $1 \times \text{CO}_2$, $2 \times \text{CO}_2$ et $4 \times \text{CO}_2$. b : Coupe méridienne de la circulation moyenne thermohaline dans l'océan, dans la simulation du climat actuel ($1 \times \text{CO}_2$). c : Évolution du flux moyen mesurant l'intensité de la circulation thermohaline dans les trois expériences $1 \times \text{CO}_2$, $2 \times \text{CO}_2$ et $4 \times \text{CO}_2$.

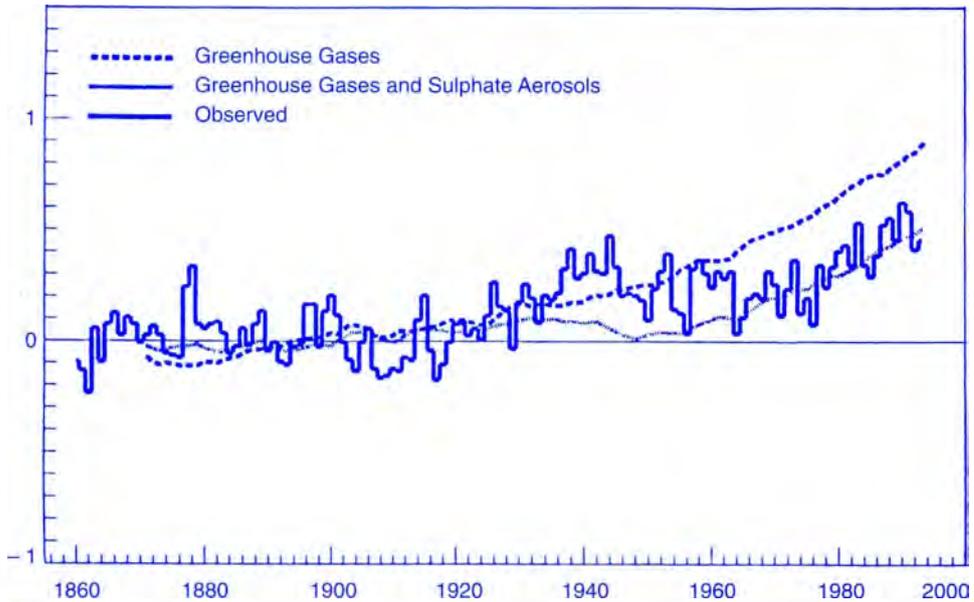


Figure 3

Variations de la température moyenne à la surface depuis 1860, observées et simulées avec un modèle couplé océan-atmosphère, en tenant compte de l'effet de serre seul et en ajoutant l'effet des aérosols soufrés. D'après Mitchell (1996) dans IPCC Report on Climate Change (1996).

d'arriver à reproduire les variations observées, en tenant compte de ces diverses charges atmosphériques. On voit sur la figure 3 (d'après Mitchell

et al., 1996, dans l'IPCC Report on Climate Change 1996) qu'il faut tenir compte de l'effet refroidissant des aérosols soufrés pour se rapprocher des observations. Ces résultats sont intéressants, car ils démontrent une certaine capacité des modèles actuels à simuler correctement les variations décennales du climat. Toutefois, il convient de rester prudent, car tous les agents du forçage n'ont pas été pris en compte (entre autres, les aérosols non soufrés et les gaz à effet de serre autres que le CO_2).



Les équations de la thermodynamique des fluides sont tellement sensibles aux conditions initiales que le battement des ailes d'un papillon modifie le temps à terme à grande échelle.

L'ÉVOLUTION FUTURE DU CLIMAT : DES PRÉVISIONS DIFFICILES À VALIDER

Le pas suivant concerne les tentatives de prévision. On maîtrise assez bien aujourd'hui la prévision numérique du temps, et les modèles de circulation générale utilisés pour la simulation du climat sont finalement très proches des modèles utilisés de façon routinière dans les centres météorologiques opérationnels. Mais ici les difficultés sont d'un autre ordre. Dans la prévision du temps, la connaissance de l'état initial de l'atmosphère joue un rôle déterminant. D'autre part, la qualité des prévisions peut



L'École nationale des ponts et chaussées conserve l'effigie de Louis Navier.

C'est l'équation de base de la mécanique des fluides. Établie en 1822 par Navier puis, indépendamment, en 1845 par Stokes, cette équation gouverne l'évolution de toutes les grandeurs d'intérêt des écoulements de fluides « usuels ».

Dans sa version la plus simple (fluide incompressible), elle s'écrit :

$$\text{div } \vec{u} = 0$$

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\text{grad } \vec{u}) \cdot \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \Delta \vec{u} + \vec{f}$$

où les inconnues sont les champs de vitesse \vec{u} et de pression p (la masse volumique ρ , la viscosité cinématique ν et les efforts extérieurs \vec{f} étant donnés). On peut s'étonner qu'une discipline scientifique soit fondée sur une équation apparemment aussi simple. Mais, à cause du terme non-linéaire $(\text{grad } \vec{u}) \cdot \vec{u}$, les solutions de cette équation peuvent se révéler très complexes et, en particulier, faire intervenir une gamme très étendue d'échelles de temps et de longueur. Aussi bien l'étude mathématique de l'équation de Navier-Stokes que sa résolution numérique directe restent des problèmes ouverts sur lesquels travaillent de très nombreux scientifiques.

Inspecteur divisionnaire du corps des Ponts et Chaussées, Académicien, Louis Navier (1785-1836) était professeur de mécanique appliquée à l'École royale des ponts et chaussées en 1831, année de création des Annales dont il fut l'un des premiers auteurs. On lui doit, entre autres travaux scientifiques, plusieurs mémoires *sur les lois du mouvement des fluides en ayant égard à l'adhésion des molécules*.

être testée quotidiennement par comparaison aux évolutions observées ; ces allers et retours routiniers constituent une base statistique propre à l'évaluation et à l'amélioration permanente des modèles. Quand on simule l'évolution du climat, au contraire, les intégrations se prolongent sur des décennies. L'état initial de l'atmosphère est déjà oublié au bout d'une quinzaine de jours ; seuls comptent au delà le forçage thermique du système et l'état initial de la circulation profonde océanique. Aux échelles de temps qui nous intéressent, les prédictions deviennent extrêmement sensibles à la façon dont sont modélisés les processus critiques du bilan radiatif, notamment le cycle de l'eau atmosphérique, et plus particulièrement, les nuages et leurs propriétés radiatives. L'amélioration du réa-

lisme des modèles passe par l'amélioration de la modélisation de ces processus ; mais le problème est difficile, car il faut simuler de façon quantitative, à l'échelle de mailles de l'ordre de la centaine de kilomètres, des processus microphysiques assez complexes, sans parler de la fractalité des structures nuageuses qui jouent sans doute un rôle important dans le bilan radiatif.

Dans quelle mesure peut-on se fier aux simulations du climat futur ? Il est certain que les modèles s'améliorent peu à peu : on a vu qu'ils arrivaient à reproduire assez bien les variations du dernier siècle. Mais le problème de fond demeure : comment valider dès aujourd'hui les prévisions de ce que sera le climat dans quelques décennies ? Les simulations du dernier siècle sont un bon test,



La nature des couverts végétaux a une influence dans le contrôle des flux de masse et d'énergie.

Les modèles de circulation générale atmosphérique utilisés pour simuler le climat ne sont pas fondamentalement différents des modèles utilisés dans les centres de prévision météorologique. Ils résolvent les équations de l'hydrodynamique sous l'approximation hydrostatique et l'approximation de couche mince (l'épaisseur de l'atmosphère – une dizaine de kilomètres – étant faible devant le rayon de la Terre). Une composante particulièrement importante est la modélisation du cycle de l'eau : transport, changements de phase, modélisation des nuages et des précipitations. Ils se distinguent toutefois des modèles de prévision du temps, par le soin particulier

qu'il faut apporter à la modélisation du forçage radiatif et de l'énergétique, et aussi des échanges entre l'atmosphère et les surfaces continentales : hydrologie des sols, rôle des différents couverts végétaux dans le contrôle des flux de masse et d'énergie. Les modèles de circulation générale océanique sont analogues aux modèles de circulation générale atmosphérique, avec deux composantes critiques qui sont le cycle du sel et la dynamique des glaces de mer. Le couplage des modèles d'atmosphère avec les modèles d'océan pose des problèmes délicats au niveau du contrôle des flux à l'interface, pouvant conduire à des dérives importantes du système.

mais suffisent-elles ? La réponse est probablement nuancée. Les processus critiques pour la sensibilité climatique à long terme sont aussi à l'œuvre dans les fluctuations les plus rapides du système, comme les variations saisonnières ou la variabilité inter-annuelle. Ces fluctuations, elles, sont bien documentées et peuvent servir de banc d'essai pour l'évaluation indirecte des modèles de prévision et leur amélioration. ■

Références bibliographiques

- H. Le Treut, Z.X. Li et M. Forichon, 1994 : Sensitivity of the LMD general circulation model to greenhouse forcing associated with two different cloud water parameterizations. *J. Climate* **7**, 1827-1841.
- S. Manabe, R.J. Stouffer et M.J. Spelman, 1994 : Response of a coupled ocean-atmosphere model to increasing atmospheric carbon dioxide. *Ambio*, **23**, 44-49.
- J.F.B. Mitchell, T.J. Johns, J.M. Gregory et S.B.F. Tett, 1995 : Transient climate response to increasing sulphate aerosols and greenhouse gases. Soumis, cité dans *IPCC Report on Climate Change* (1996).

LES INGÉNIEURS COMME EXPERTS AUPRÈS DES POLITIQUES ?

Philippe Roqueplo

« QUE PEUT-ON DÉGAGER DE L'ÉTUDE SOCIOLOGIQUE DU PROBLÈME DE L'EFFET DE SERRE ET DES PLUIES ACIDES EN CE QUI CONCERNE LE RÔLE DES INGÉNIEURS COMME EXPERTS ¹ PROPOSANT DES SOLUTIONS OU PRÉPARANT DES DÉCISIONS ? »
TELLE EST LA QUESTION QUI M'A ÉTÉ POSÉE.

LES AFFAIRES DES « PLUIES ACIDES » ET DE « L'EFFET DE SERRE » ²

C'est au début des années 80 que le problème du dépérissement des forêts s'est transformé en ce qu'il est convenu d'appeler l'affaire des pluies acides. Cela s'est produit à la suite des interventions de quelques scientifiques allemands annonçant que les forêts de RFA étaient malades et que la cause de cette maladie était la même que pour les lacs scandinaves, à savoir l'attaque des arbres par l'acidité des pluies, acidité due principalement à l'anhydride sulfureux (SO₂) émis par des foyers de combustion lointains et transporté par les nuages poussés par les vents. Cette annonce fut puissamment orchestrée par le *Spiegel* puis par tous les médias allemands. Des photos furent publiées, montrant tous les différents états de la maladie dont les arbres étaient atteints (nid de cigogne à la cime, pousses de détresse, jaunissement, etc.). Ainsi informés, les Allemands virent partout que leurs arbres étaient malades ; ceci provoqua une fantastique bourrasque politique. Le gouvernement dut prendre des mesures. Celles qui provoquèrent la plus grande agitation au niveau européen concernaient les voitures propres et l'essence sans plomb. Décisions d'ailleurs étonnantes car les voitures n'émettent pas d'anhydride sulfureux. Décisions qui furent néanmoins scientifiquement légitimées – sans que les scientifiques interviennent directement – par une théorie scienti-

fique qui attribuait le dépérissement des forêts à l'ozone (troposphérique) résultant de la photo-oxydation des hydrocarbures imbrûlés par des oxydes d'azote, les uns et les autres étant contenus dans les gaz d'échappement des voitures. Lorsque j'ai étudié cette affaire, j'ai été profondément choqué par l'embrouillamini inextricable d'informations contradictoires et quasi-invérifiables résultant elles-mêmes des interventions désordonnées des scientifiques ; choqué par la façon dont les différents groupes de pression trouvaient le moyen de faire diffuser par les médias, sous l'autorité de la science, des argumentaires favorisant leurs stratégies... Bref, quoi qu'il en fût des sciences elles-mêmes, leurs apports à la décision politique me parurent provoquer des effets redoutables. Ceci me conduisit à concentrer ma recherche sur l'expertise scientifique. J'ai choisi pour domaine d'investigation l'affaire des conséquences climatiques des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, affaire sur laquelle, pour le moment, je n'en dirai pas plus, renvoyant le lecteur à l'ensemble de ce numéro des *Annales*.

On pourra, certes, juger ces affaires (des pluies acides et de l'effet de serre) fort éloignées de la pratique que des ingénieurs peuvent avoir de l'expertise : elles le sont en effet ; non seulement parce que

1. Le mot *expert* revêt dans la langue française deux significations différentes selon qu'il est utilisé comme adjectif ou comme substantif. Comme adjectif, il signifie que le sujet auquel il est attribué est compétent dans un certain domaine ; comme substantif, il désigne une personne dont la fonction est de prononcer une expertise. Il convient de noter que tel n'est pas le sens du mot *expert* dans la littérature internationale de langue anglaise du fait qu'en anglais le mot n'a que le sens revêtu en français par l'adjectif.

2. On me permettra de renvoyer ici le lecteur à mes deux ouvrages consacrés à ces questions : *Pluies acides : menaces pour l'Europe*, Paris, Economica, 1987 et *Climats sous surveillance : limites et conditions de l'expertise scientifique*, ibid, 1993.

les expertises que j'ai étudiées étaient explicitement énoncées au nom des sciences (biologie, chimie de l'atmosphère, etc.), mais encore parce qu'il s'agit de très vastes problèmes qui, par leur globalité même, se traitent nécessairement au niveau international. Il n'empêche ; on peut, me semble-t-il, en tirer quelques enseignements concernant « *le rôle des ingénieurs fonctionnant comme experts* ».

L'INGÉNIEUR ET L'EXPERT

Encore faut-il avoir quelque idée de ce que l'on entend par « *ingénieur fonctionnant comme expert* ». D'après le dictionnaire Larousse, l'ingénieur et l'expert ont en commun d'être des « *personnes que leurs connaissances rendent aptes* » à exercer certaines fonctions, mais il ne s'agit pas des mêmes fonctions. Celles de l'ingénieur sont des « *fonctions actives* » telles que « *créer, organiser, diriger des travaux* »... et « *y tenir un rôle de cadre* ». Celles de l'expert sont d'un autre ordre : il s'agit de « *juger d'une chose* », de « *suivre la construction* » d'un bâtiment, de « *régler des litiges* », de « *vérifier un compte ou de donner un avis dans une affaire* », de « *constater* » ou de « *fournir une estimation* ». D'un côté il s'agit de créer, organiser, diriger et de l'autre de juger, contrôler, vérifier, constater, estimer.

Ainsi est-il clair que s'il est demandé à un ingénieur d'intervenir comme expert, ce n'est point pour exercer sa fonction active d'ingénieur ; c'est pour « *juger de quelque chose* » et s'il est appelé à le faire, c'est au titre de la connaissance qu'atteste l'exercice habituel de sa fonction d'ingénieur, connaissance qui, pense-t-on, le rend apte à formuler le jugement qui lui est demandé. L'articulation entre la connaissance et la pratique s'inverse, en quelque sorte, de l'un à l'autre : l'ingénieur transcrit ses connaissances en pratique tandis que l'expert fournit à celui qui l'interroge un jugement, celui-ci étant fondé sur la connaissance qu'il met en œuvre dans sa pratique et qui, pour une grande part, résulte de cette pratique.

Tout semble donc clair. Et cependant maintes équivoques doivent être levées : en particulier l'équivoque entre le jugement du juge et celui de l'expert, ainsi que l'équivoque entre la connaissance qui fonde le savoir-faire de l'ingénieur et celle qu'il exprime dans ses éventuelles expertises.

NI JUGE NI DÉCIDEUR

D'abord la question du jugement. Ce que la société attend du jugement d'un juge, c'est qu'il soit conforme aux exigences de la justice et si tel n'est pas le cas, on dira qu'il est injuste ; par ailleurs ce jugement porte sur des personnes, considérées comme responsables de leurs actes. Il n'en va pas de même du jugement de l'expert : s'il n'est pas juste, on dira qu'il est inexact ou erroné ; en outre, l'expert ne juge pas quelqu'un, mais juge, nous dit le Larousse, « *de quelque chose* », ce quelque chose pouvant être la plus ou moins grande capacité d'un inculpé d'avoir agi de façon responsable : l'expert aura alors à juger de cette capacité, mais il ne jugera pas l'inculpé au nom de la justice. Ce qui est vrai de l'expert nommé par un juge est d'ailleurs également vrai de l'expert consulté par un « décideur » : si l'expert répond alors en énonçant un jugement, ce jugement ne porte pas sur la décision elle-même mais sur tel ou tel aspect qu'il lui est demandé d'élucider. Il n'est ni le juge ni le chef. *Ce qui est attendu de lui est de l'ordre de la connaissance* : il doit fournir ce qui est nécessaire au juge ou au décideur pour juger ou décider « *en connaissance de cause* ». Cette distinction est capitale. On lui objectera cependant que la plupart du temps les ingénieurs sont conduits à jouer plusieurs rôles, surtout lorsque ils travaillent dans un cadre administratif. Ainsi d'un ingénieur des Ponts représentant officiellement le gouvernement français dans une commission de Bruxelles : n'y est-il pas envoyé pour y faire œuvre de négociateur et y défendre les intérêts de la France ? En tant que fonctionnaire, ne jouit-il pas *ipso facto* d'une délégation de pouvoir le situant d'emblée du côté des « décideurs » ? Et à quoi lui sert-il d'être déclaré expert, sinon à se voir attribuer³ une compétence l'autorisant à intervenir dans le processus de décision auquel il participe ? La distinction entre décideur et expert ne serait donc pas aussi tranchée que je le suggère.

L'objection est cependant plus apparente que réelle. Quitte à formuler ensuite des nuances, je commencerai par répondre que l'ingénieur-expert ainsi concerné doit savoir clairement ce qui est attendu de lui. De deux choses l'une : ou bien son titre d'expert lui est attribué pour signifier qu'on le considère apte à jouer le rôle de négociateur qualifié ; ce qu'on attend de lui est alors qu'il mette ses

connaissances au service de son rôle politique de négociateur ; ou bien il est envoyé, au nom de son expérience et de ses connaissances, comme expert chargé de prononcer un « jugement de vérité » sur un aspect donné d'un problème donné et il serait dans ces conditions coupable de sa part de présenter comme expertise un jugement politiquement biaisé. Situé à l'interface de la connaissance et de la décision, l'expert se trouve sur le versant « connaissance » de cette interface. Il a précisément pour fonction spécifique de fournir de la connaissance. Je crois important, quitte à apporter ensuite des nuances, de commencer par répondre ainsi afin de dénoncer le jeu hypocrite – pour ne pas dire malhonnête – de ceux qui, de façon volontaire et consciente, se donnent l'apparence de parler *au nom de leur connaissance* alors que cette connaissance ne leur sert qu'à construire un argumentaire pour tenter d'imposer au nom de leur science une politique qu'ils ont reçu la charge de défendre. Pour que ce fût honnête, il faudrait dire clairement le jeu que l'on joue et considérer que ce qui est alors officiellement demandé à celui que l'on qualifie d'expert est de plaider une certaine cause.

CONTRAIT À DIRE PLUS QU'IL NE SAIT

Ici une question se pose : que ce soit ou non de façon officielle, l'expert, du fait même qu'il joue le rôle d'expert, n'est-il pas la plupart du temps en train de plaider une certaine cause ? En d'autres termes : n'est-il pas fallacieux de penser que – au moins sur des questions complexes aux enjeux importants – il puisse exister un expert « neutre parce qu'indépendant » ?

Les deux affaires que j'ai étudiées me paraissent fournir ici un premier enseignement : si scientifique qu'elle se présente, l'expertise ne se confond nullement avec l'expression pure et simple d'un savoir. *Même si l'expression est rigoureusement la même, un énoncé scientifique se transforme en expertise scientifique par le fait même que son énonciation s'intègre dans le dynamisme d'un processus de prise de décision.* L'expert scientifique répond au politique. Or la plupart du temps – surtout s'il s'agit d'une affaire complexe – *il ne trouve pas directement dans son savoir la réponse à la question posée.* Dès lors, que doit-il faire ? Il peut refuser de répondre en invoquant son ignorance, ce

qui revient en fait à refuser d'exercer la fonction d'expert. Mais à qui donc le politique s'adressera-t-il alors pour obtenir la « connaissance de cause » qu'il recherche ? Conscient de cette situation, le scientifique acceptera donc de se risquer à fournir une réponse ; étant donné que son savoir ne lui fournit pas directement cette réponse⁴, ceci exigera de sa part qu'il transgresse les limites de ce savoir : il dira *non pas ce qu'il sait mais ce dont, tout bien considéré, sur la base de sa pratique scientifique et de son savoir, il est plus ou moins convaincu.* C'est ainsi que la solennelle expertise formulée en 1990 par les experts rassemblés dans le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC⁵) commence par deux paragraphes dont les premiers mots sont respectivement : « nous avons la certitude que... », et « les calculs nous donnent la conviction que... » ; après quoi, après avoir évoqué « l'insuffisance de nos connaissances » vient un paragraphe commençant par « nous estimons que... » Tel est le langage des scientifiques dès lors qu'ils acceptent d'exercer la fonction d'expert, celle-ci les mettant dans l'obligation de fournir, malgré l'insuffisance de leurs savoirs, la « connaissance de cause » que leur demandent les politiques. L'obligation de répondre, inscrite dans la notion même d'expertise, a pour conséquence que cette réponse transgresse alors inéluctablement les limites du savoir scientifique sur laquelle elle se fonde. La question est alors de s'interroger sur la fiabilité des convictions et opinions qui s'expriment ainsi, fussent-elles fondées sur les sciences.

J'y reviendrai plus loin après avoir proposé un second enseignement qu'il me paraît légitime de dégager des deux affaires que j'ai étudiées.

LA FONCTION DE VIGILANCE ET D'ALERTE

Tant à propos des pluies acides que de l'effet de serre, on peut distinguer deux formes d'expertises scientifiques : l'une consiste à alerter en proclamant l'existence d'un danger menaçant (je l'appellerai

3. Le mot expert étant alors utilisé comme adjectif (cf. *supra* note 1).

4. Situation que les signataires du trop fameux appel de Heidelberg ont, hélas, omis de considérer.

5. En anglais : « Intergovernmental Panel on Climate Change » (IPCC).

expertise alerte) : l'autre consiste à intervenir dans le processus décisionnel destiné à prendre les mesures adéquates pour pallier cette menace (je l'appellerai *expertise opérationnelle*). Dans l'une et l'autre affaire l'expertise alerte a été d'une efficacité considérable : ce sont les scientifiques allemands, puissamment relayés par le Spiegel et les médias allemands, qui ont déclenché l'affaire des pluies acides en Europe. Ce sont les météo-climatologues qui ont déclenché (dans des conditions que je n'analyserai pas ici) l'affaire de l'effet de serre. Disons plus : c'est par eux que cette affaire existe, car nul jusqu'à présent n'a constaté de ses propres yeux quelque changement climatique que ce soit. *Ce changement n'a d'existence que par l'alerte lancée par les scientifiques*. Toute l'affaire de l'effet de serre repose sur leur expertise. Eux-mêmes n'ont d'ailleurs pas directement constaté quelque changement climatique que ce soit⁶. Ils en savent cependant assez pour être convaincus que ce changement risque de se produire et ils le disent. Là se situe leur expertise. S'ils ne la formulaient pas, on serait en droit de le leur reprocher. Mais, ceci dit, ils ne disposent pas aujourd'hui de l'expertise opérationnelle capable de fournir aux politiques les éléments précis leur permettant de fonder une politique. Dans l'un et l'autre cas (les pluies acides et l'effet de serre), l'expertise des scientifiques a certes suffi à imposer l'obligation politique de prendre en considération ce que l'on appelle le « principe de précaution » (lequel est tout sauf clair), mais elle ne se trouve pas en mesure d'accompagner opérationnellement les politiques dans la mise en œuvre concrète de cette « précaution ».

Il y a là un enseignement que je crois fondamental : face à un monde économique qui exige une dérégulation généralisée, des scientifiques ont crié « casse cou » et continuent à le crier. Lors de l'affaire des pluies acides, ce cri d'alerte a soulevé en Allemagne un énorme mouvement d'opinion qui a conduit la Communauté Européenne à édicter tout un arsenal de normes (pot catalytique, essence sans plomb⁷, désulfuration des grands foyers de combustion, etc.). Certains scientifiques, convaincus de la menace pesant sur les forêts européennes, se sont ainsi auto-proclamés avocats de ces forêts. Aujourd'hui d'autres scientifiques, convaincus des risques climatiques résultant des émissions de gaz à effet de serre, s'érigent en avocats du climat et, à travers ce climat, en avocats des généra-

tions futures. Je crois en effet qu'il s'agit là d'une ardente obligation qui pèse sur les épaules de ceux que la société a formés et qui sont ainsi devenus détenteurs de connaissances dont elle peut avoir politiquement besoin. Ainsi en va-t-il des ingénieurs que forme à grands frais cette société, surtout lorsqu'elle leur délègue un pouvoir administratif : comme les scientifiques dans le domaine climatique, ils sont publiquement en charge de tel ou tel aspect de l'avenir de notre environnement (qu'il soit urbain, technique ou naturel) et, par le fait même, promus avocats des générations futures que menace un développement économique anarchique obérant l'avenir par un système concurrentiel sans autre projet que son propre fonctionnement. Face à cette idéologie de la dérégulation généralisée et à certains effets pervers d'une régionalisation souvent mal mise en place, ces « ingénieurs fonctionnaires de la puissance publique » sont les veilleurs responsables du bien public et de l'avenir à long terme au sein d'un monde tellement hypnotisé par le court terme qu'il en est venu à ne plus même saisir ce que les expressions de bien public et de long terme peuvent bien signifier⁸. Tel est un des enseignements que l'on peut, me semble-t-il, dégager de l'analyse sociologique du rôle des scientifiques dans les affaires des pluies acides et de l'effet de serre.

TOUTE EXPERTISE EST AFFECTÉE PAR LA SUBJECTIVITÉ DE CELUI QUI LA PRONONCE

Ceci dit, on ne peut pas ne pas se demander pourquoi, par exemple, certains scientifiques ont annoncé avec tant de conviction la mort prochaine de certaines forêts non seulement allemandes mais françaises. Ma réponse est qu'ils en savaient assez pour être saisis par l'angoisse et que cette angoisse a généré leur conviction, donc leur expertise. On peut d'ailleurs se poser la même question à propos de l'expertise des météo-climatologues. On doit même le faire à propos de toute expertise portant sur des questions complexes aux enjeux graves. Comme je l'écrivais plus haut, l'expert, par le fait même qu'il accepte de remplir la fonction d'expert, en dit plus qu'il n'en sait. Il exprime ses convictions, son opinion, « ce qu'il en pense ». Or, si fondées qu'elles soient sur une pratique scientifique, une

conviction, une opinion, une « pensée » n'ont pas le statut du savoir objectif. Elles engagent la subjectivité de l'expert. Dès lors qu'il s'agit d'une question complexe aux enjeux importants, l'expert est toujours, qu'il le veuille ou non et si scientifique qu'il se prétende, l'avocat plus ou moins conscient d'une certaine cause.

L'ESPACE DE L'EXPERTISE SCIENTIFIQUE

Si chaque scientifique, du fait même qu'il joue le rôle d'expert, devient plus ou moins consciemment l'avocat d'une cause, il en résulte qu'une « véritable expertise » ne saurait être prononcée par un seul scientifique ni même, probablement, par plusieurs s'exprimant de façon unanime. Au contraire, l'expertise doit être conçue comme une procédure collective consistant en une confrontation *directe et contradictoire*⁹ des scientifiques-experts, en présence des instances politiques qui en appellent à leurs connaissances.

Une telle confrontation fera apparaître la façon dont l'orientation personnelle de chaque expert le conduit à privilégier telle donnée plutôt que telle autre ou à interpréter telle incertitude de telle ou telle façon ; bref, à faire des choix au sein même du stock des savoirs disponibles. Ces choix seront aussitôt critiqués par les autres experts participant à cette confrontation : ceux-ci mettront précisément en évidence le fait qu'il s'agit de choix que la science n'impose nullement et qui sont donc l'effet d'une certaine orientation subjective. Ils formuleront d'ailleurs eux-mêmes d'autres certitudes qui seront à leur tour critiquées pour les mêmes raisons. Chacun sera alors conduit à creuser plus avant le savoir dont il dispose, et ainsi se fera une radicalisation collective des ressources scientifiques de l'expertise (donc un processus d'objectivation) et la mise en évidence de la manière dont ces ressources objectives peuvent être organisées de diverses façons pour appuyer ou disqualifier telles ou telles orientations décisionnelles.

Le fait majeur est alors le suivant : même si le politique ne dispose pas lui-même du savoir des experts, il est directement témoin de la manière dont ce processus dialectique aboutit à une articulation des reliefs du savoir avec les reliefs des décisions envisageables et de leurs enjeux. Il se trouve en outre

directement témoin des critiques scientifiques formulées de part et d'autre par les différents experts : sans être capable de juger par lui-même de la fiabilité des apports individuels de chaque expert, le politique dispose ainsi d'un processus, dont il est directement témoin, déléguant aux scientifiques eux-mêmes le soin de valider – par leurs critiques mutuelles effectuées en sa présence – les bases scientifiques fondant l'expertise collective ainsi élaborée.

Mais il doit dès lors être clair qu'il n'est pas demandé au scientifique-expert de prononcer seul l'expertise attendue de lui ; ce qui lui est demandé, c'est d'entrer dans une procédure exigeant de sa part qu'il convoque tout son savoir pour défendre une certaine option et pour critiquer la manière dont les experts auxquels il est opposé convoquent eux-mêmes les savoirs disponibles. Il n'est d'ailleurs pas exclu que, dans un tel processus, de vastes zones d'ignorance soient rendues manifestes sur lesquelles les experts mis en présence les uns des autres auront à exprimer des opinions – éventuellement contradictoires – et à les justifier scientifiquement autant qu'il est possible. Il est donc clair que, dans un tel processus, *ce n'est pas l'apport de tel ou tel expert qui contient l'expertise, mais l'espace ouvert par leur confrontation, espace que cette confrontation a permis non seulement de structurer mais d'articuler à celui des décisions politiquement envisageables.*

C'est de cet espace que le politique doit disposer pour pouvoir exercer sa fonction de décision « en connaissance de cause » : il le fera alors sans que sa décision lui soit dictée par l'autorité de la science, de même que le juge prononce ses jugements en considération de la « connaissance de cause » contenue dans l'espace ouvert devant lui par les plaidoiries des avocats mais sans que ces jugements lui soit dictés par aucune de ces plaidoiries.

6. Sauf, depuis peu, une élévation de 0,6 °C de la température moyenne de la terre depuis un siècle. Mais peut-on assimiler un résultat si prodigieusement complexe à une « constatation » ?

7. Le plomb constituant un poison pour les catalyseurs.

8. Que l'on pense par exemple aux problèmes à long terme posés par l'alimentation en eau, la pollution des sols, les décharges de produits toxiques, etc., auxquels maints ingénieurs sont professionnellement confrontés, comme les météorologues le sont à l'avenir du climat.

9. Ce qui n'est pas le cas du recours à la contre-expertise sur laquelle je reviendrai plus loin.

Il va de soi qu'une telle conception de l'expertise s'oppose à la pratique des expertises confidentielles, pratique pernicieuse en ce qu'elle ne permet pas au politique de disposer d'une procédure pour mesurer la fiabilité des réponses qu'il reçoit. En tout état de cause, le dosage de la confidentialité et de la publicité constitue une question des plus difficiles sur laquelle je ne puis ici m'étendre. Je dirai cependant que – au moins sur les questions aux enjeux importants – les risques politiques de la confidentialité sont incomparablement plus grands que ceux d'une ouverture excessive de la procédure d'expertise.

L'INGÉNIEUR ADMINISTRATIF : DU CÔTÉ DU POUVOIR

Je m'étendrai davantage sur un autre aspect de la question : le fait que la demande d'expertise n'est généralement pas formulée directement par les instances politiques mais par les instances administratives chargées d'élaborer les décisions. Cela est gros de conséquences. En effet, alors que la vie politique vit de débats publics, la vie administrative s'efforce au contraire d'exclure de tels débats qui compliquent considérablement son travail. On aura, certes, recours à des contre-expertises, mais non pas à une confrontation directe des experts ; on pratiquera des arbitrages entre ministères, mais chaque ministère fera appel à ses propres experts : on fera en sorte que le débat demeure contenu dans la sphère des négociations intra-gouvernementales et l'on déploiera le maximum d'efforts afin d'éviter que ce débat sorte de cette sphère pour aller vers ce que j'ai appelé « l'espace de l'expertise », de peur qu'il ne se transforme en un débat public impossible à contrôler.

C'est une première difficulté à laquelle s'en ajoute une autre : le personnel administratif d'un ministère technique est constitué d'ingénieurs particulièrement compétents dans le domaine sur lequel ce ministère exerce sa tutelle : d'où, de leur part, une tendance à restreindre culturellement le champ de l'expertise à celui de leur propre compétence. Par ailleurs ces responsables administratifs jouissent des mêmes compétences que ceux auxquels – dans ces conditions – ils seraient susceptibles de demander une expertise. Ceci a pour conséquence qu'ils se considèrent en mesure de poser eux-mêmes les

questions ainsi que d'y répondre, donc de formuler eux-mêmes l'expertise nécessaire à la décision qu'ils ont pour mission d'élaborer. L'expertise est ainsi formulée par ceux dont la charge serait de la demander mais qui ne jugent pas nécessaire de se compliquer la vie en ayant recours à des experts extérieurs puisqu'il pensent disposer eux-mêmes de la fameuse « connaissance de cause » attendue par les responsables politiques. Ne sont-ils pas d'ailleurs « payés pour ça » ? Le point important est que l'expertise se trouve dès lors « confisquée » sans que ceux qui la confisquent ainsi se rendent compte du fait qu'elle s'en trouve inéluctablement biaisée. Pourquoi ? Parce que, en tant qu'administratifs jouissant d'une véritable délégation de pouvoir politique, ils interrogent la plupart du temps leur savoir à partir d'une orientation décisionnelle d'ores et déjà quasi-établie. Il y a donc fort à parier que de nombreux aspects n'auront pas été pris en compte qui eussent exigé l'intervention et la confrontation d'experts de cultures différentes apportant des « connaissances de cause » destinées à justifier des orientations elles-mêmes différentes.

S'il est permis de tirer un dernier enseignement de ce qui a été précédemment écrit, c'est que cette collusion du savoir et du pouvoir dans une seule et même personne – ou dans un seul et même Corps – doit être évitée et que le rôle de l'ingénieur fonctionnaire n'est – que ce soit personnellement ou collectivement – ni de décider ni de fournir une expertise, mais d'utiliser sa double compétence politique et scientifique à choisir des experts scientifiques susceptibles d'ouvrir un « espace collectif d'expertise » correspondant le mieux possible à la géographie des connaissances et à celles des options envisageables. Ce n'est qu'après avoir conduit à son terme cette procédure d'expertise que – au moins dans les affaires complexes aux enjeux très importants – l'ingénieur administratif devrait exercer le pouvoir décisionnel qui lui est délégué et assurer par sa double compétence l'insertion véritable de l'expertise ainsi obtenue au sein des instances proprement politiques. Dans le déroulement du processus collectif de décision, l'ingénieur administratif au sein d'un ministère technique se situe certes, comme les experts, à l'interface entre le savoir et le politique, mais à la différence des experts il se trouve placé sur le versant politique de cette interface. Il gère l'expertise et la relation pertinente de

celle-ci aux instances politiques mais - au moins lorsqu'il s'agit de questions complexes - son rôle ne me paraît pas, bien au contraire, de formuler lui-même cette expertise¹⁰.

INSTITUTIONNALISER L'EXPERTISE AU SEIN DES ORGANISMES DE RECHERCHE ET ENTRE EUX

Il est vrai que ceci prend du temps et que les décisions, souvent, ne sauraient attendre. C'est ici qu'intervient la responsabilité des organismes de recherche (CNRS, INSERM, INRA, ORSTOM, etc.) dans le domaine de l'expertise : d'une part mettre en place, en leur propre sein et entre eux, des procédures d'expertise cherchant non point à converger sur des conclusions obtenues par consensus, mais au contraire à ouvrir autant qu'il est possible l'espace des options envisageables et de leur critique scientifique ; d'autre part faire fonctionner ces structures et ces procédures *en anticipant les questions prévisibles des politiques*¹¹. Alors le travail d'expertise deviendra cumulable, car il ne se réduira pas à une multitude de réponses plus ou moins ponctuelles rendues rapidement obsolètes par les vicissitudes de la demande politique. Ces expertises contradictoires, internes aux organismes, devraient donner lieu à des publications dans de grandes revues internationales, en sorte que soient instaurés ces « espaces publics de l'expertise » offrant sur chaque question importante, aux hommes politiques et à l'opinion

publique elle-même, la « connaissance de cause » permettant de donner une base solide aux débats politiques correspondants, à quelque moment qu'ils se produisent.

Dans une affaire comme celle de l'effet de serre, cela semble d'ailleurs la seule voie réaliste pour que les populations deviennent progressivement conscientes des menaces qui pèsent sur elles et puissent un jour consentir aux sacrifices que la conjoncture climatique risque d'exiger d'elles. C'est-à-dire : pour que les gouvernements puissent prendre un jour de façon réelle et efficace les décisions drastiques qui, un jour, risquent de s'imposer. ■

10. Si - sur de telles questions - il exerce lui-même la fonction d'expertise, il privilégie alors (consciemment ou non) son propre choix et, par le fait même, usurpe une fonction politique qui n'est pas la sienne, transgressant ainsi les limites du pouvoir qui lui est délégué. C'est ainsi que se construisent des appareils d'État en conflit les uns avec les autres et dont les décisions ne résultent finalement ni des expertises qui devraient les justifier ni de la légitimité que les élections confèrent au pouvoir politique en place.

11. Est-il besoin d'attendre d'être interrogés pour lancer des expertises collectives sur l'articulation des transports par rail et par route, sur le poids politique du lobby des camionneurs, sur la circulation urbaine, sur l'alimentation en eau, sur l'avenir de la nappe phréatique, etc. ? (Si cet article n'avait pas été écrit - comme c'est le cas - avant qu'éclate l'affaire de la Vache Folle, j'aurais ajouté : était-il besoin d'attendre une telle crise pour lancer une expertise collective et contradictoire sur une telle question, dont de nombreux scientifiques et administratifs annonçaient en privé depuis déjà longtemps qu'elle risquait de déboucher un jour sur une crise grave ?)



Le Jardin des Plantes ; vue du jardin d'hiver. (Photo Muséum National d'Histoire Naturelle)

ACTIVITÉS HUMAINES ET EFFET DE SERRE ATMOSPHERIQUE

Michel Petit

LA TEMPÉRATURE D'UN CORPS ISOLÉ DANS LE VIDE SPATIAL EST DÉTERMINÉE PAR L'ÉQUILIBRE ÉNERGÉTIQUE ENTRE LE RAYONNEMENT QU'IL REÇOIT ET CELUI QU'IL ÉMET. LES INGÉNIEURS SPATIAUX MAÎTRISENT PARFAITEMENT CE PHÉNOMÈNE ET SAVENT CHOISIR, AVANT LE LANCEMENT, LA RÉPARTITION ENTRE SURFACES DORÉES RÉFLÉCHISSANTES ET SURFACES NOIRES ABSORBANTES QUI GARANTIRA QUE LA TEMPÉRATURE D'UN ENGIN SPATIAL RESTERA DANS UNE FOURCHETTE IMPOSÉE PAR LA NATURE DE SA CHARGE UTILE. LES PLANÈTES COMME LES SATELLITES ARTIFICIELS ONT UNE TEMPÉRATURE QUI RÉSULTE D'UN TEL ÉQUILIBRE RADIATIF. LEUR ATMOSPHÈRE JOUE UN RÔLE IMPORTANT DANS CE PROCESSUS, EN PARTICULIER PARCE QUE CERTAINS GAZ SONT CAPABLES D'ABSORBER UNE FRACTION DU RAYONNEMENT ÉMIS PAR LE SOL.

Ce rayonnement se produit dans l'infrarouge pour des corps dont la température est de quelques centaines de degrés Kelvin et les gaz actifs sont donc ceux qui absorbent dans cette gamme de longueur d'onde. Au premier rang d'entre eux figure le gaz carbonique, par ailleurs tout à fait anodin pour l'environnement. C'est la différence de concentration en CO₂ dans l'atmosphère de Mars, de la Terre et de Vénus qui explique que la Terre soit plus chaude que Mars de quelques dizaines de degrés et plus froide que Vénus de quelques centaines de degrés. Sans ce phénomène, qu'on appelle effet de serre par analogie avec les serres des jardiniers et des horticulteurs, la température de notre planète serait inférieure d'une bonne trentaine de degrés à ce qu'elle est et la vie ne se serait pas développée sous la forme que nous connaissons.

POURQUOI S'INTÉRESSER À L'EFFET DE SERRE ?

L'effet de serre n'a donc rien de négatif en lui-même et le seul sujet d'inquiétude est que les activités humaines accroissent de façon indiscutable et indiscutée la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère de notre planète. Les scientifiques qui travaillent sur ce sujet ne voient pas comment nous pourrions échapper à un réchauffement du climat et ce sont leurs travaux qui justifient l'attention que le monde porte à l'effet de serre. Les vagues de chaleur ou les changements de climat que chacun peut subjectivement ressentir n'ont rien à voir avec cette problématique. Cependant, le recul des glaciers alpins, et plus généralement l'ensemble des données climatiques recueillies depuis le début du siècle, montrent l'évidence d'un accroissement de la température moyenne du globe d'un demi degré. L'attribution de cette élévation à l'effet de serre est moins évidente. Cependant, des analyses récentes concluent que la répartition jour/nuit, la distribution géographique et verticale des variations de température observées sont si proches des résultats des meilleures modélisations numériques de l'effet de serre qu'elles en constituent une validation statistiquement significative.

CONCENTRATION ATMOSPHERIQUE EN GAZ À EFFET DE SERRE

Une étude exhaustive, dont l'objectivité a été assurée par une double procédure d'examen critique avec correction du rapport à chaque stade, a été réalisée par le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), fondé conjointement par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Le rapport final, comportant des milliers de pages, a été formellement adopté en décembre 1995 et tous les résultats présentés dans

cet article y sont exposés de façon détaillée. On y trouve notamment que la concentration des gaz à effet de serre a cru de façon significative depuis le début de l'ère industrielle (depuis 1750), par exemple pour le CO₂ de 280 à 360 parties par million en volume (ppmv) avec un taux de croissance moyen récent de 0,4 % par an, pour le méthane de 700 à 1 720 parties par milliard en volume (ppbv) avec un taux de croissance moyen récent de 0,8 % par an, pour l'oxyde nitreux N₂O de 275 à 310 parties par milliard en volume (taux de croissance moyen récent de 0,25 % par an). L'estimation de la durée de vie atmosphérique de ces gaz doit prendre en compte tous les processus impliqués, de telle sorte qu'il est impossible de décrire la réalité par un seul nombre. Si on en reste à des considérations qualitatives, on peut cependant dire que la durée de vie du CO₂ est de l'ordre du siècle, de même que celle du N₂O, tandis que celle du méthane serait plutôt de la décennie. D'autres gaz à effet de serre comme le perfluorocarbonate CF₄, initialement absents de l'atmosphère, y séjournent pendant plusieurs millénaires après que l'homme ait cessé d'en émettre. L'accroissement observé de la concentration atmosphérique des divers gaz à effet de serre est généralement cohérent avec le bilan qu'on peut faire de leurs émissions (ou sources) et de leurs disparitions (ou puits). C'est ainsi que pour le plus important d'entre eux, le gaz carbonique, on estime les émissions annuelles de carbone provenant de l'utilisation des combustibles fossiles à 5,5 milliards de tonnes (ou gigatonnes, Gt en abrégé) et celles dues à la déforestation tropicale à 1,6 Gt, soit un total de 7,1 Gt. Sachant que l'augmentation observée de la concentration atmosphérique en CO₂ correspond au stockage de 3,3 Gt par an, que l'absorption annuelle de l'océan est estimée par les modèles numériques à 2 Gt, que la reforestation dans l'hémisphère nord tempéré absorbe 0,5 Gt, on voit qu'il manque un puits de 1,3 Gt pour équilibrer le bilan. L'origine pourrait en être diverse : fertilisation par les rejets industriels d'azote ou par augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ qui accélère la photosynthèse, effets climatiques eux-mêmes. En réalité, toutes les estimations ci-dessus sont affectées de barres d'erreur qui se traduisent par une erreur de + ou - 1,5 Gt sur l'estimation du « puits manquant », si bien que ce puits pourrait être une petite source.

Pour pouvoir estimer ce que pourrait devenir l'effet de serre au cours du siècle prochain, il faut bien entendu faire des hypothèses sur la croissance de la population mondiale et l'accroissement de l'activité économique. Les hypothèses faites par le GIEC sont les mêmes que celles du Conseil Mondial de l'Énergie et reposent sur les estimations de l'ONU et de la Banque Mondiale. Divers scénarios ont été envisagés, allant d'une population de 6,4 milliards d'habitants en 2100 et d'un taux de croissance moyen d'ici là de 1,2 % à une population de 17,6 milliards et à un taux de 3 %.

LA MODÉLISATION DU CLIMAT

Les prévisions climatiques pour le siècle prochain sont fondées sur des modèles numériques de circulation atmosphérique et de circulation océanique qui tiennent compte de tous les phénomènes pertinents identifiés, notamment de la vapeur d'eau qui est elle-même le premier des gaz à effet de serre. Une amélioration importante récemment apportée aux modèles consiste à prendre en compte les aérosols qui n'atténuent que faiblement l'amplitude du réchauffement climatique, mais qui en modifient la répartition géographique à cause de leur faible durée de vie qui limite leur effet au voisinage de la région où ils sont produits. Sans cette prise en compte, l'accord signalé ci-dessus entre les évolutions récentes du climat et la modélisation serait beaucoup moins bon.

Bien évidemment, la complexité de telles modélisations est redoutable et la longueur des temps de calcul nécessaires sur les meilleurs ordinateurs actuels limite le nombre de simulations complètes envisageables pour explorer toutes les hypothèses de départ. Il n'y a donc rien de surprenant à ce qu'il y ait une certaine dispersion dans la valeur calculée du réchauffement climatique pour une augmentation donnée de la concentration des gaz à effet de serre.

LES RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

En associant une prévision intermédiaire pour l'évolution des émissions nettes (sources moins puits) et un modèle climatique de sensibilité



L'agriculture est sensible à l'amplitude et à la rapidité du changement climatique. (Photo min. de l'Agriculture)

moyenne, on arrive à une estimation de l'accroissement moyen de la température de 2° en 2100 auquel correspondrait une élévation du niveau moyen de la mer de 50 cm. En associant le modèle climatique le moins sensible aux prévisions d'émissions les moins fortes et au contraire le modèle le plus sensible aux estimations les plus fortes, on arrive à une fourchette d'accroissement de 0,8° à 3,5° pour la température moyenne et de 15 à 95 cm pour le niveau moyen de la mer.

A cause de l'inertie thermique des océans, seuls 50 à 90 % du changement de température ultime auront eu lieu en 2100 et la température continuera à augmenter au-delà, même si la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre a alors été stabilisée. Le niveau de la mer, quant à lui, continuera d'augmenter à la même vitesse pendant des siècles après la stabilisation des températures, à cause de la fonte progressive des glaces.

CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MESURES D'ADAPTATION

La santé humaine, les systèmes écologiques terrestres et aquatiques et les systèmes socio-économiques tels que agriculture, exploitation des forêts, ressources en eau sont sensibles à l'amplitude et à la rapidité du changement climatique. L'évaluation des dommages potentiels correspondants dépend non seulement des conséquences du changement climatique, mais de la faculté d'adaptation des systèmes naturels et des sociétés humaines.

Les effets des variations climatiques sont difficiles à quantifier et les études disponibles dans la litté-

ture scientifique ont une portée limitée. Une première difficulté est le manque de fiabilité des estimations des changements climatiques à une échelle géographique fine, correspondant à la taille des écosystèmes. D'autre part, nous n'avons qu'une compréhension limitée de nombreux processus critiques et les systèmes sont soumis à des pressions multiples, climatiques ou non, dont les effets ne sont souvent pas additifs, les phénomènes n'étant pas linéaires. Peu d'études se sont adressées à la réponse dynamique à un accroissement progressif de la concentration en gaz à effet de serre et un encore plus petit nombre d'entre elles a envisagé les conséquences de concentrations plus élevées que le double des valeurs préindustrielles. Quelques exemples illustreront le type de conséquences auxquelles on peut s'attendre.

La composition et la distribution de nombreux écosystèmes varieront en fonction de la réponse des espèces individuelles au changement climatique. Les forêts de haute latitude seront les plus affectées et les forêts tropicales seront les moins touchées. Aux latitudes moyennes, le réchauffement de 1° à 3,5° au cours du siècle prochain correspond à un déplacement des isothermes de 150 à 550 km vers les pôles ou à une variation en altitude de 150 à 550 m. Ces données sont à rapprocher des vitesses de migration du passé, qu'on estime de 4 à 200 km par siècle. On peut donc s'attendre à la disparition de certains types de forêts et à l'apparition de nouveaux. En montagne, les diverses formes de végétation se déplaceront vers le haut, ce qui entraînera la disparition des espèces proches des sommets qui n'auront pas de possibilité de migration.

Actuellement, environ 46 millions de personnes vivant dans des régions côtières sont menacées d'inondation en cas de forte tempête. En l'absence de mesures d'adaptation et sans tenir compte des accroissements prévus de population, ce nombre passerait à 92 millions pour une élévation du niveau de la mer de 50 cm. Pour une élévation d'un mètre, la perte de terres serait de 0,05 % pour l'Uruguay, de 1 % pour l'Égypte, de 6 % pour les Pays Bas, de 17 % pour le Bangladesh... et de 80 % pour l'atoll Majuro des îles Marshall, dans l'état actuel des systèmes de protection.

En ce qui concerne l'agriculture, les études prenant en compte la fertilisation due à la teneur plus élevée en gaz carbonique, mais non les risques liés aux

parasites et à la variabilité du climat, prédisent que le volume total de la production agricole devrait pouvoir être maintenu. Cette approche globale du problème ne rend évidemment pas compte des risques de famine en certains endroits, par exemple pour les populations parmi les plus pauvres du monde vivant dans les régions subtropicales ou tropicales et dépendant de systèmes agricoles isolés dans des régions semi-arides ou arides.

Les effets sur la santé peuvent être directs, essentiellement dus à des affections cardiorespiratoires durant les vagues de chaleur plus meurtrières que les vagues de froid qui seraient en régression. Les effets indirects seraient probablement prédominants avec l'élargissement de la zone affectée par certaines maladies dont la transmission est assurée par des vecteurs dont l'habitat se trouverait élargi : paludisme, dengue, fièvre jaune entre autres.

Les progrès technologiques ouvrent des possibilités d'adaptation, par exemple par une meilleure gestion des ressources en eau douce et par une modification des pratiques agricoles et des espèces cultivées. Ce sont les nations les moins développées ayant un accès réduit à de telles technologies et ne disposant pas des capitaux nécessaires qui auront le plus de difficulté à s'adapter et seront donc les plus vulnérables aux conséquences du changement climatique.

ATTÉNUATION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les risques liés au réchauffement climatique ont à tout le moins une probabilité d'occurrence qui impose aux décideurs d'examiner sérieusement les possibilités d'atténuer ce phénomène. En tout état de cause, l'humanité ne peut se permettre impunément d'accroître indéfiniment la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre. Les États signataires de la Convention de Rio sur le climat, comme la France, se sont d'ailleurs engagés à maîtriser leurs émissions, même si la possibilité de tenir ces engagements est mise en doute par certains. La politique à mettre en œuvre doit s'adresser à l'ensemble des gaz concernés. Nous allons commencer par examiner le dioxyde de carbone, qui, en raison de son importance, de sa durée de vie et de la complexité de son comportement, nécessite une étude plus approfondie que les autres gaz à effet de serre.



Certaines forêts pourraient connaître de profondes transformations. (Photo min. de l'Agriculture)

Le gaz carbonique

Le CO₂ 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 devaient se maintenir à leur niveau actuel (environ 7 Gt de carbone 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 CO₂ dans l'atmosphère s'élèverait de façon pratiquement constante pendant au moins 200 ans, atteignant 500 ppmv environ vers la fin du XXI^e 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 stabilisation 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.

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 de carbone 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 allant de 0,1 tonne à plus de 2,0 tonnes dans un petit nombre de cas (l'ensemble de ces chiffres étant valable pour 1990). On peut aussi rapporter les émissions à la valeur du produit intérieur brut (PIB) : leur moyenne mondiale annuelle est



Véritables marais artificiels, les rizières sont un milieu producteur de méthane.

actuellement d'environ 0,27 tonne pour 1 000 \$ US (valeur de 1990) de PIB évalué au taux de change du marché, 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 est actuellement, pour 1 000 \$ US (valeur de 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. On voit donc que, si la contribution des pays en développement est actuellement minoritaire, leur développement se traduira par un accroissement de leur contribution relative aux émissions d'autant plus rapide que leur développement économique sera plus vigoureux, comme c'est actuellement le cas en Asie.

Le méthane

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 millions de tonnes de CH_4 par an (soit 8 % environ des émissions anthropiques actuelles). Si les émissions de méthane devaient se maintenir au niveau actuel, la concentration de ce gaz (qui était de 1 720 ppbv en 1994) passerait à 1 820 ppbv d'ici à 40 ans.

L'oxyde nitreux

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, ce qui en multiplierait le forçage radiatif différentiel par quatre par rapport au niveau actuel.

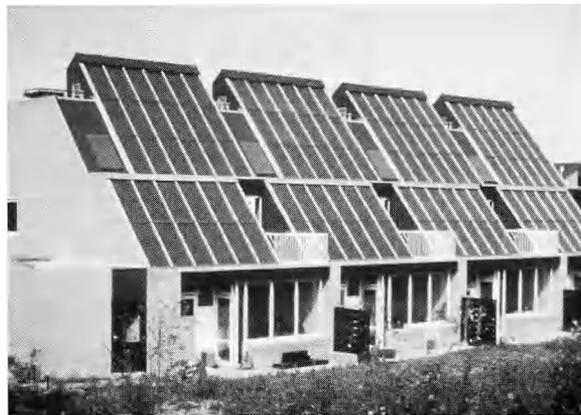
Coût et avantages des mesures d'atténuation

Le coût des mesures de stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre 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 des moyens d'action. Il est certainement plus économique d'utiliser le renouvellement normal des infrastructures en fin de vie pour les remplacer par des installations réduisant les émissions de gaz à effet de serre que d'en faire une réforme prématurée dès maintenant. Le choix d'un échelonnement dans le temps des réductions suppose donc la mise en balance des coûts économiques d'une réduction rapide des émissions et des risques d'une temporisation. Les mesures d'atténuation offrant d'autres avantages pour l'environnement sont évidemment à privilégier.

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 d'émission, des moyens d'intervention, etc. 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 nul ou même avec un gain net. A plus long terme, on peut espérer mieux grâce à un renouvellement plus complet des investissements et au temps donné aux



L'utilisation du bois comme ressource énergétique limite le recours aux énergies fossiles. (Photo min. de l'Agriculture)



Des actions sont développées pour augmenter la part des énergies renouvelables. (Photo CSTB)

activités en matière de recherche, de développement et de démonstration et aux politiques de transformation du marché pour porter leurs fruits. La question essentielle est de savoir dans quelle mesure les imperfections du marché ou des institutions qui s'opposent à la mise en place de mesures économiques de réduction des émissions peuvent être surmontées de façon économique par des moyens d'intervention adaptés.

Une collaboration internationale indispensable

Le dernier paragraphe du document de synthèse du deuxième rapport d'évaluation du GIEC peut servir de conclusion mobilisatrice à cet article.

« 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 offrirait 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'infrastruc-



... accroître les puits de gaz à effet de serre. (Photo min. de l'Agriculture)

ture 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. » ■

TRANSPORTS ET EFFET DE SERRE

Jean-Pierre Orfeuil

LA QUESTION DU RÉCHAUFFEMENT DE LA PLANÈTE LIÉ AUX ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE MOBILISE, SUR LE PLAN DE LA CONNAISSANCE, LES SCIENTIFIQUES DE L'ATMOSPHÈRE, DE L'OcéAN ET DU CLIMAT. LES ORGANISATIONS INTERNATIONALES, LES NÉGOCIATIONS ET FORUMS INTERNATIONAUX MOBILISENT LES MACRO-ÉCONOMISTES QUI ÉCHANGENT LEURS VISIONS DU LONG TERME, DÉBATTENT SUR LES INSTRUMENTS, LEURS VICES ET LEURS VERTUS VIS-À-VIS D'UN PROBLÈME PLANÉTAIRE AUQUEL DOIT FAIRE FACE UN MONDE INTERDÉPENDANT, MAIS ENCORE PEU COORDONNÉ. DE NOMBREUX ÉTATS ONT SIGNÉ DES ENGAGEMENTS DE STABILISATION, MAIS NE METTENT GUÈRE D'EMPRESSEMENT À LES RESPECTER, ET AUCUNE DÉCISION D'AMPLEUR COMPARABLE À L'ABANDON DE LA PRODUCTION DES CFC (MOTIVÉE PAR LA RÉDUCTION DE LA COUCHE D'OZONE) OU À L'OBLIGATION DES POTS CATALYTIQUES EN EUROPE (MOTIVÉE PAR LES PLUIES ACIDES) N'A ÉTÉ ADOPTÉE¹.

On présentera donc ici les éléments de base du dossier et les principaux termes du débat relatifs aux transports à travers l'analyse des émissions des transports et de leur évolution, l'analyse des marges de manœuvre techniques et enfin la présentation de quelques instruments utilisables pour modérer la pression des transports sur l'environnement global.

LES ÉMISSIONS DES TRANSPORTS, LEUR ÉVOLUTION, LEUR RÉPARTITION DANS LE MONDE

Les véhicules à traction thermique émettent du dioxyde de carbone (environ 3 tonnes pour 1 tonne



Les véhicules à traction thermique émettent environ trois tonnes de CO₂ pour une tonne de carburant...

de carburant) et divers gaz contribuant à l'effet de serre (monoxyde de carbone, oxydes d'azote, composés organiques volatils à l'échappement, HFC pour la climatisation, protoxyde d'azote pour l'épuration, etc.). Ces gaz ajoutent, selon l'IPCC², 10 à 20 % au potentiel de réchauffement lié au dioxyde de carbone. Les émissions qui dépendent de la fabrication des matériels, des carburants (raffineries) ou de l'énergie électrique (pour les chemins de fer par exemple) ne sont pas négligeables non plus, mais sont étroitement liées à l'activité, si bien qu'on utilisera les consommations d'énergie des transports (à plus de 95 % pétrolières) comme indicateurs de pression :

Tableau 1
Evolution de la consommation d'énergie des transports (TEP : tonne-équivalent pétrole)

	Monde			OCDE			Reste du monde		
	1973	1985	1990	1973	1985	1990	1973	1985	1990
Consommation des transports (millions de TEP)	962	1 250	1 432	675	786	911	287	464	521
% transports dans la demande pétrolière	33,5	41,7	44,1	35,1	48,9	52,3	29,7	32,6	33,8
% transports dans les énergies fossiles (charbon, gaz, pétrole)	18,6	19,3	20,2	20,8	24,9	26,9	12,7	12,5	12,5

Source : ENERDATA/ADEME.

Tableau 2
Consommation d'énergie-transport par habitant (TEP/habitant, 1990)

Monde	OCDE	OCDE	OCDE	OCDE	Europe	PED		PED	
		Amérique	Europe	Pacifique	Est		Amérique	Asie	Afrique
0,27	1,08	1,89	0,65	0,66	0,45	0,067	0,24	0,04	0,06

Source : ENERDATA/ADEME.
(Hors soutes maritimes).

À l'échelle mondiale, l'activité et la consommation des transports (tableau 1) restent sur une pente fortement croissante (+ 2,4 % par an ou dans le monde, + 1,8 % pour l'OCDE, + 4,4 % dans les pays en développement) et représentent près de 50 % des consommations pétrolières. Malgré un certain « rattrapage », chaque habitant du monde en développement (tableau 2) consomme 16 fois moins qu'un habitant de l'OCDE, et un Américain (du Nord) consomme 3 fois plus qu'un Européen.

La pression provient essentiellement du transport routier (74 %), suivie du transport aérien (12 %), des soutes maritimes (7 %), le rail et les voies navigables jouent un rôle assez faible (7 %). la répartition des consommations est appelée à se redéployer vers les pays aujourd'hui en développement. A l'horizon 2020, l'OCDE restera toutefois largement majoritaire (60 à 70 % des consommations), mais les consommations additionnelles viendront surtout des autres pays.

En France, la consommation d'énergie des transports croît de 1,9 % par an (tableau 3) entre 1973 et 1994, malgré une baisse accusée des soutes maritimes (liée à l'amélioration du rendement des navires, à l'évolution du trafic et aux stratégies d'approvisionnement des armateurs) et de la voie navigable. Les consommations des transports collec-

tifs ferroviaires et routiers stagnent, et la dérive du bilan est entièrement imputable au trafic aérien (+ 4,6 %/an) et à la route (voitures particulières, utilitaires légers et poids lourds : + 2,5 %/an).

Tableau 3
Consommation d'énergie des transports en France (millions de TEP)

	1973	1985	1990	1994
Transport routier de marchandises	7,44	9,95	13,64	14,6
Deux-roues, voitures, taxis	14,9	18,5	21,5	22,9
SNCF, transports urbains et routiers de voyageurs	2,63	2,53	2,66	2,75
Transport aérien	2,0	2,74	3,95	4,65
Soutes maritimes	5,31	2,33	2,47	2,14
Voie navigable, oléoducs	0,3	0,16	0,16	0,14
Total	32,4	36,2	44,4	47,2
(Prix pondéré du carburant auto, F 1994)	5,48	6,85	5,40	4,78

1. On notera à leur décharge que les dossiers évoqués étaient plus simples, que les technologies étaient prêtes et que l'opinion était alertée par des phénomènes « visibles », comme les cartes de réduction de la couche d'ozone et le dépérissement des forêts en Europe Centrale. Sur ces questions, voir Roqueplo 1988 et 1993.

2. Intergovernmental Panel on Climate Change.

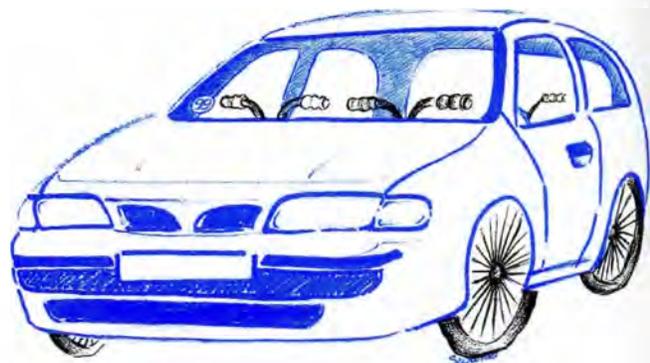
La modification du paysage énergétique français est très profonde depuis 1973 : quasi-abandon des combustibles fossiles pour la production électrique, régression des consommations énergétiques industrielles, progression des consommations du secteur résidentiel et tertiaire – avec une forte substitution de l'électricité aux combustibles –, progression nette des transports. En s'en tenant aux émetteurs de dioxyde de carbone, les transports représentaient un sixième du problème en 1973. Ils en représentent aujourd'hui plus d'un tiers et devraient compter pour la moitié en 2010. En d'autres termes, les transports, qui ont traversé les chocs pétroliers avec une certaine sérénité grâce aux gigantesques capacités d'adaptation mises en œuvre dans d'autres secteurs (nucléaire, substitution, maîtrise de l'énergie) seront à l'avenir en première ligne, soit en cas de problème d'approvisionnement pétrolier, soit en cas de mobilisation internationale sur l'effet de serre.

DES MARGES D'ADAPTATION A PRIORI TRÈS IMPORTANTES

La baisse de l'intensité énergétique (rapport de l'énergie consommée à la richesse produite) de toutes les grandes économies à la suite des chocs pétroliers a clairement établi que le lien énergie/croissance pouvait être distendu. Le scepticisme l'emporte pour les transports, bien que la croissance de la consommation ait été beaucoup plus faible entre 1973 et 1985 (+ 1,1 %) que depuis le contre-choc (+ 3 %). Pourtant, les marges d'adaptation sont *a priori* énormes dans un grand nombre de domaines.

Véhicules

Pour des véhicules largement vendus, on observe couramment des écarts de consommations allant jusqu'à 3 litres aux 100 km. L'IPCC estime que les technologies aujourd'hui mobilisables pourraient réduire les émissions de 35 à 50 %, à poids et performances équivalents, et jusqu'à 80 % par réduction des performances pour les voitures particulières, et respectivement jusqu'à 40 et 60 % pour les poids lourds. Amory. B. Lovins (Lovins, 1995) préconise quant à lui une révolution technologique fondée sur



Swane propose mieux que l'hybridation des moteurs.

une substitution massive des composites à l'acier et sur l'hybridation des moteurs pour atteindre des « supercars » consommant 1 litre aux 100 km.

Énergie

L'usage de carburants alternatifs issus de la biomasse, de véhicules électriques ou hybrides peut aller jusqu'à réduire d'un facteur trois les émissions globales (usage, fabrication des carburants et des véhicules).

Modes de transport

Dans les conditions actuelles, le trafic routier de marchandises exige trois fois plus d'énergie à la tonne transportée que le fer en wagon isolé et huit fois plus qu'en train complet. En milieu urbain, la voiture exige trois fois plus d'énergie que le transport public. Sur un parcours interurbain en France, l'avion consomme deux fois plus que la voiture, quatre fois plus que le TGV (*figure 1*).

Occupation de l'espace

Un habitant des zones périurbaines consomme deux à trois fois plus d'énergie (Hivert, 1994 ; Gallez, 1995) pour ses déplacements habituels qu'un habitant des parties denses des agglomérations, du fait de distances plus importantes à parcourir et d'un usage plus intensif de l'automobile (*figure 2*). Nous ne sommes donc à l'évidence pas en manque de marges de manœuvre dans des domaines aussi différents que la technologie, l'organisation des systèmes de transport ou l'aménagement du territoire.

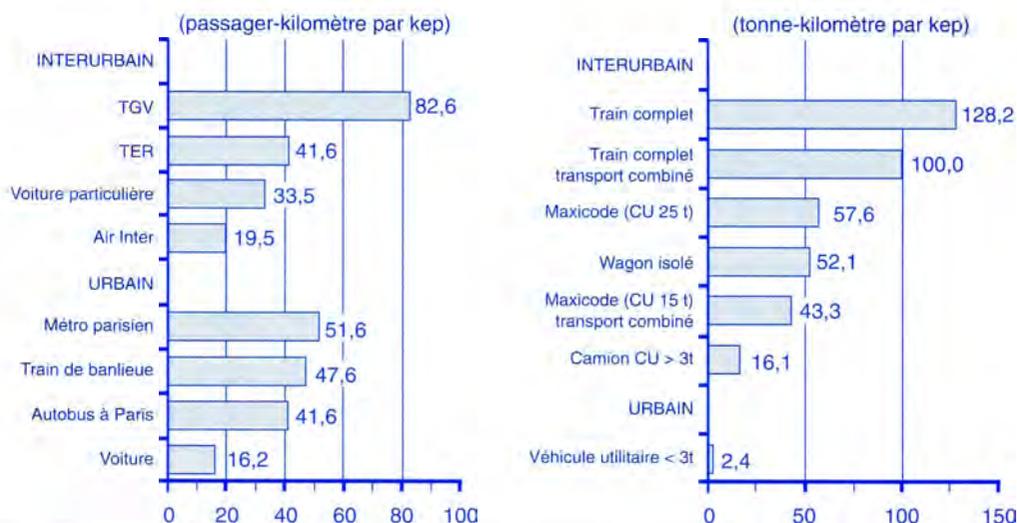


Figure 1
Efficacité énergétique des systèmes de transport (France, 1992). Source : ADEME.

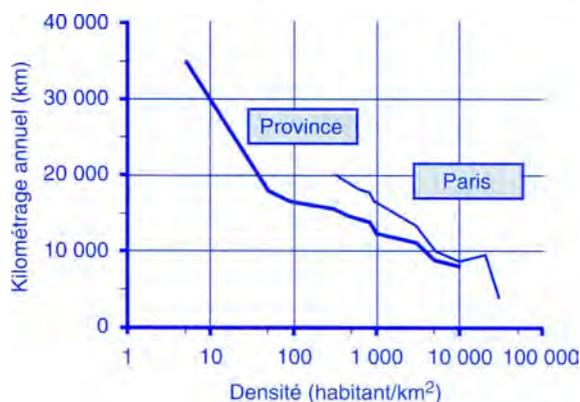


Figure 2
Densité urbaine et utilisation de la voiture.
Sources : INRETS, ADEME et SOFRES.

... MAIS INEXPLOITÉES

La concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est un phénomène cumulatif : le gaz carbonique émis aujourd'hui participe à la composition de l'atmosphère de demain et d'après demain ; d'une certaine façon, la tonne émise aujourd'hui aura de plus en plus d'importance à mesure que le temps passe. Nos principes économiques généraux fonctionnent dans un sens opposé : via l'actualisation, le futur pèse de moins en moins lourd à mesure que l'horizon s'éloigne : actualisé à 8 %, un coût dans 20 ans ne pèse que 5 % de ce qu'il pèserait si nous devions le supporter aujourd'hui. On ne s'étonnera pas, dans ces conditions, que la plupart des évolutions actuelle-

ment observées aillent à rebours de l'exploitation des marges évoquées : les voitures ont gagné 52 kilos et 9 kw pendant les années quatre-vingts en Europe et leur consommation de carburant ne s'améliore plus depuis le contre-choc pétrolier (respectivement 7,6, 6,7 et 6,6 litres/100 en 1980, 1985 et 1993 en France pour les nouvelles immatriculations, 8,3, 7,1, 7,2 en Europe), en liaison avec la baisse très significative du prix moyen du carburant automobile ; la demande se déplace des transports publics vers l'automobile et du train vers les poids lourds ; les villes se périurbanisent : dans le grand télescopage entre les préoccupations de long terme et les opportunités de court terme, celui-ci l'emporte largement, au risque que les solutions d'aujourd'hui deviennent les problèmes de demain. La réalité de la menace climatique est trop virtuelle aujourd'hui pour initier à elle seule des inflexions, mais si elle se matérialisait demain, il serait infiniment plus difficile d'y faire face. Y a-t-il une troisième voie entre la myopie indifférente d'aujourd'hui et la menace paralysante, quand il sera trop tard ?

DÉVELOPPEMENT DURABLE, PRINCIPE DE PRÉCAUTION, STRATÉGIE SANS REGRET, DOUBLE DIVIDENDE...

Autant de concepts apparus depuis une dizaine d'années sur la scène des négociations internationales qui ont l'avantage, dans une certaine mesure, de parler d'eux-mêmes. Les deux premiers renvoient

à des logiques patrimoniale et assurantielle. Le développement durable, par exemple, est un « développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs »³. Inutile de dire que la consommation d'énergie fossile et les émissions cumulatives dans l'atmosphère font partie du problème !

Plus tournés vers l'action, les concepts de stratégie sans regret et de double dividende s'efforcent d'identifier des champs d'action et des instruments opératoires susceptibles d'amoindrir les pressions sur l'environnement tout en contribuant à résoudre les problèmes les plus préoccupants à court terme. L'OCDE consacre depuis plusieurs années des programmes importants à ces thèmes. Elle a par exemple montré que les subventions à la production et à la consommation d'énergie étaient fréquentes et importantes dans le monde, induisant à la fois surconsommations et surémissions dans le domaine de l'environnement et allocation non optimale des ressources, ce qui, dans un contexte d'économie libérale, diminue le potentiel économique. Le raisonnement peut être étendu au-delà de la simple logique de marché : chacun s'accorde à reconnaître que, si un certain niveau de prélèvements obligatoires est indispensable au fonctionnement des pouvoirs publics et de la protection sociale, la structure des prélèvements (sur le capital, le travail, la consommation, le revenu, l'épargne...) relève au moins autant de structures accumulées par l'histoire que de la rationalité économique présente. Dans ce contexte, l'idée d'une augmentation des taxes sur les produits ayant un impact environnemental négatif (comme l'énergie), compensée par une diminution des taxes pénalisant un élément fort de crise présente (comme les charges sur le travail) fait son chemin et a été analysée avec intérêt par une Commission du Plan en France. Les transports pourraient être d'autant plus concernés qu'au-delà des émissions de gaz carbonique, les transports engendrent des externalités négatives (pollutions locales et régionales, congestion dans les grandes villes, et surtout accidents).

Avec plusieurs collègues (Chartier *et al.*, 1995), nous avons défini récemment pour la Conférence Mondiale de l'Énergie ce que pourrait être un agenda minimum pour la conciliation du développement économique et du développement des transports routiers (qui représentent, rappelons-le, 20 % des émissions de gaz carbonique).

• Un premier objectif concerne la couverture intégrale des coûts des transports routiers par les différentes catégories d'usagers.

L'exigence peut paraître naturelle, mais elle n'est pas satisfaite, par exemple aux États-Unis, où les recettes provenant des usagers ne couvrent que 75 % des coûts routiers directs (investissement, maintenance et exploitation). La situation est différente en Europe : globalement, les recettes provenant des usagers excèdent les coûts routiers directs. En revanche, certains usagers ne couvrent pas ces coûts (automobile dans les grandes agglomérations, véhicules à motorisation diesel) et dans l'ensemble, les coûts indirects (bruit, pollutions, accidents, congestions) ne sont que partiellement couverts. Une revalorisation de la taxe intérieure sur les produits pétroliers pour le gazole et une revalorisation du coût de la circulation dans les grandes villes (supplément de vignette ou de taxe sur les carburants, péage, redevance de stationnement...) permettrait à court terme un peu plus d'efficacité (convergence des coûts et des prix induisant une baisse de la pression fiscale générale, régulation du trafic par l'économie plutôt que par la file d'attente, clientèle un peu plus nombreuse dans les transports publics), un peu plus d'équité (la circulation urbaine, qui pose plus de problèmes, serait plus onéreuse que la circulation de rase campagne) et à moyen/long terme une certaine baisse de pression sur l'environnement (à titre d'exemple, on estime que l'élasticité de la consommation de carburant au prix est de - 0,3 à court terme, moins de - 0,7 à long terme, parce que les constructeurs intègrent alors à leurs nouveaux modèles des améliorations technologiques).

• Un second objectif consiste à lier de façon étroite un problème de long terme – les émissions de gaz carbonique – et un problème de court terme – la sécurité routière. Presque tous les pays du monde ont adopté des limitations de vitesse sur leurs réseaux les plus rapides (de 100 à 130 km/h), mais presque tous les constructeurs du monde proposent dans leur gamme des voitures pouvant atteindre 250 km/h. Cette situation est évidemment nuisible à la crédibilité de l'action publique (qui impose une règle mais se garde d'interdire les moyens de la détourner), mais aussi à la maîtrise des émissions de gaz carbonique, extrêmement sensibles, notamment en circulation urbaine (à vitesse faible donc), à la vitesse de pointe du véhicule (*figure 3*). Dans ce domaine, un accord d'autolimitation des constructeurs (par exemple 160 km/h en

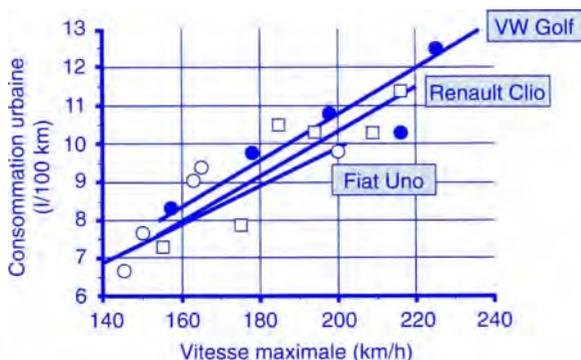


Figure 3
Consommation urbaine et vitesse de pointe.

Source : INRETS.

2010) serait hautement souhaitable. Il va sans dire que des mesures parallèles pour les motos et les utilitaires complèteraient le dispositif.

- Un troisième objectif consisterait tout simplement à mieux informer les rapports consommateurs/producteurs. De nombreuses études américaines montrent que des technologies d'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules, rentables en ce sens qu'elles sont économiquement amorties sur la durée de vie des véhicules, ne sont pas nécessairement intégrées dans les chaînes de production des constructeurs, tout simplement parce que le consommateur n'y voit pas un argument d'achat suffisant. Des travaux américains (Miles, 1993) suggèrent que des procédures appelées *feebates* (contraction de rebates : rabais sur les véhicules moins consommateurs que l'objectif fixé par la puissance publique ; *fee* : taxe additionnelle sur les véhicules plus consommateurs, le bilan total des taxes et détaxes étant nul) peuvent être très efficaces, même à un niveau assez faible de différenciation : un gain de 15 % sur la consommation des véhicules commercialisés pourrait être obtenu par un processus de détaxe/surtaxe de 1 000 à 1 500 francs par litre de sur/sous consommation. Le processus peut paraître original, mais il s'apparente au principe de régulation de l'assurance maladie par une vigilance accrue à l'égard des médecins aux prescriptions trop longues...

Cet agenda comportait d'autres points, et notamment la recherche d'une attention accrue aux carburants alternatifs (gaz, carburants ex biomasse), aux propulsions alternatives (hybrides et électricité) et aux modes alternatifs à la route, dans l'optique d'une stratégie de précaution maintenant des capacités d'adaptation pour les générations futures.

POUR UN AVENIR MOINS FAÇONNÉ PAR LE PASSÉ

S'il ne prétend évidemment pas à l'exhaustivité – il faudrait plus d'un livre pour décrire les stratégies de maîtrise de l'énergie et des émissions de gaz carbonique dans les seuls transports –, du moins témoigne-t-il que la prise en considération d'une menace globale n'est ni l'austérité, ni la résignation, mais peut-être une chance globale, celle de relativiser le présent pour penser un avenir moins façonné par le passé. « À l'étranger, ne demande pas son lieu de naissance, mais son lieu d'avenir » conseille Edmond Jabes. Il poursuit : « qu'est-ce qu'un étranger ? Celui qui te fait croire que tu es chez toi ». Étrange effet de serre, qui nous invite, nous les zappeurs, les jouisseurs sans entraves ni délais, à ressentir, comme celui qui plante un olivier, que les enfants de nos petits enfants habiteront la planète Terre. ■

Références bibliographiques

- P. Chartier, P. Eyzat, C. Girard, A. Morcheoïne, J.P. Orfeuïl, *Transport routier et développement : conciliation ou incompatibilité*, Conférence Mondiale de l'Énergie, Tokyo, 1995.
- Commissariat Général au Plan, *L'économie face à l'écologie*, La Découverte-la Documentation Française, 1993.
- C. Gallez, *Budgets Énergie Environnement des déplacements*, INRETS, 1995.
- E. Jabes, *Un étranger avec sous le bras un livre de petit format*, Gallimard, 1989.
- L. Hivert, *Budget Énergie Pollution à Grenoble*, INRETS, 1994.
- L. Michaelis, D. Bleiviss, J.P. Orfeuïl, R. Pishinger, *IPCC second assessment report*, Transportation, IPCC, 1994.
- R. Miles-Mac Lean et alii, *Designing incentives – based approaches to limit Carbon dioxide emissions from the light-duty vehicle fleet* in Transportation and Global Climate Change, D.L. Greene and D.J. Santini Eds, AC3E, 1993.
- A.B. Lovins, *Hypercars : the next industrial revolution* in Transportation and energy, D. Sperling and S. Shaheen Eds, AC3E, 1995.
- J.P. Orfeuïl, *Transport, énergie, environnement : le scénario Prométhée*, Futuribles n° 148, novembre 1990.
- J.P. Orfeuïl, *Prix et consommation de carburant dans les transports routiers de voyageurs*, Revue de l'Énergie n° 421, 1990.
- P. Roqueplo, *Pluies acides, menace sur l'Europe*, CPE/Economica, 1988.
- P. Roqueplo, *Climats sous surveillance*, Economica, 1993.

3. Rapport dit « Bruntland », du nom de la présidente de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement. Titre officiel : *Our common future*, Oxford University Press, 1987. En langue française : *Notre avenir à tous*, Éditions du Fleuve, Montréal, 1988.

LES GRANDES LIGNES DE LA POSITION FRANÇAISE dans l'organisation de l'effort international de prévention du changement climatique

Jean-Jacques Becker

LA CONVENTION CADRE DES NATIONS UNIES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE (RIO DE JANEIRO, 1992) A ÉTÉ RATIFIÉE PAR PLUS DE 140 ÉTATS. SON OBJECTIF ULTIME EST LA STABILISATION DE LA CONCENTRATION DE GAZ À EFFET DE SERRE (GES) DANS L'ATMOSPHÈRE À UN NIVEAU QUI EMPÊCHE TOUTE PERTURBATION ANTHROPIQUE DANGEREUSE DU SYSTÈME CLIMATIQUE. DANS UNE PREMIÈRE ÉTAPE, LES PAYS INDUSTRIALISÉS¹ SE SONT ENGAGÉS À RAMENER, D'ICI LA FIN DU SIÈCLE, LEURS ÉMISSIONS ANTHROPIQUES DE GES À LEUR NIVEAU DE 1990 ; QUANT AUX PAYS EN DÉVELOPPEMENT, ILS N'ENTREPRENDRONT DES ACTIONS DE PRÉVENTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE QUE DANS LA MESURE OU CELLES-CI SERONT PRISES EN CHARGE FINANCIÈREMENT PAR LES PAYS DE L'OCDE.

LE CONTEXTE INTERNATIONAL DEPUIS RIO

La première Conférence des Parties (Berlin, 1995) a lancé un processus (décrit dans le « Mandat de Berlin ») visant à définir une nouvelle étape pour progresser vers l'objectif ultime de la Convention, vraisemblablement sous la forme d'un protocole. Le Mandat de Berlin estime nécessaire que :

• Les pays industrialisés « *élaborent des politiques et des mesures et fixent des objectifs quantifiés de limitation et de réduction selon des échéances précises – 2005, 2010, 2020 par exemple – pour leurs émissions anthropiques par leurs sources et l'absorption par leurs puits des gaz à effet de*

serre non réglementés par le protocole de Montréal, en tenant compte des différences de ces Parties quant à leur point de départ... » et « que soit examinée la manière dont les Parties visées à l'annexe I coordonnent les unes avec les autres (...) les instruments économiques et administratifs appropriés... ».

• Les pays en développement « *réaffirment les engagements déjà énoncés à l'article 4.1. de la Convention et continuent à progresser dans l'exécution de ces engagements afin d'arriver à un développement durable* ».

CARACTÉRISATION DE LA PROBLÉMATIQUE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Du point de vue de la prise de décision, le changement climatique est un problème complexe à plusieurs titres ; on peut citer :

– des facteurs d'incertitude considérables, que ce soit au niveau de l'impact « physique » d'une augmentation des émissions de GES (niveaux de température, régime des précipitations, niveau de la mer...), de leurs conséquences socio-économiques ou du coût à long terme de stratégies de réduction de ces émissions (fondamentalement le coût du remplacement du système énergétique actuel, fondé sur les énergies fossiles, par des filières à faible contenu en carbone fossile comme les énergies renouvelables ou l'énergie nucléaire) ;

– son caractère « doublement » global, sachant que, d'une part, les émissions de GES d'un pays affectent tous les autres et qu'en l'absence de coordination, la somme des efforts que chacun acceptera de faire restera inférieure à ce qui serait globalement optimal, et que, d'autre part, la quasi totalité des activités économiques d'un pays sont peu ou prou concernées ;

– la situation très différente des pays quant à leur point de départ (caractérisé par le niveau d'émissions de GES par habitant, par point de PIB, ...), compte tenu notamment de leur niveau de développement respectif et/ou de leurs efforts passés en matière de politique énergétique. Ainsi, la politique énergétique que la France a menée depuis le premier choc pétrolier lui a permis de réduire très sensiblement ses émissions de CO₂ et donc sa contribution à l'effet de serre dès avant 1990². Ces résultats ont pu être obtenus grâce à la mise en place combinée d'une politique vigoureuse de maîtrise de l'énergie et d'un vaste programme électronucléaire (Le développement du parc nucléaire a permis de diviser par dix le contenu en CO₂ d'un kWh électrique).

Dans son second rapport d'évaluation, le Groupe intergouvernemental d'experts pour l'étude du climat (GIEC) conclut qu'une action de prévention se justifie au nom du principe de précaution, mais ne fournit guère de critères opérationnels pour la dimensionner de manière indiscutable. Par ailleurs, les différents acteurs ont conscience qu'une coopération internationale est indispensable, mais constatent combien elle est difficile à formaliser en raison de la situation de départ très différente de chaque pays. Enfin les politiques de prévention doivent viser un éventail très large d'acteurs économiques tout en restant administrativement gérables, ce qui plaide indiscutablement en faveur des instruments de marché.

QUELS ENGAGEMENTS POUR LES PAYS INDUSTRIALISÉS APRÈS 2000 ?

La forme actuelle des engagements pris par les pays industrialisés se fonde sur un objectif de limitation contraignant des émissions de gaz à effet de serre, fixé *a priori*, sans examen préalable de ce que chaque pays pouvait raisonnablement espérer accomplir, et ne tenant pas compte des « circonstances nationales » (notamment les points de départ différents des Parties et de leurs implications en terme de coût unitaire des actions de limitation des émissions encore disponibles) ; il n'est guère surprenant qu'elle conduise à des résultats en demi-teinte, comme le confirment les premiers examens des communications nationales réalisés par le

Secrétariat de la Convention, ou les déclarations de certains pays³.

Son principal avantage est la simplicité de sa formulation ; en revanche, elle ne respecte pas certains critères dont de nombreuses analyses soulignent l'importance :

- *critère d'efficacité économique* : rechercher la minimisation du coût global de la stratégie de prévention de l'effet de serre mise en œuvre, en faisant réaliser en priorité les réductions d'émissions les moins coûteuses, sans se préoccuper, dans un premier temps, de leur localisation géographique⁴ ;
- *critère d'équité* : conduire à une répartition acceptable de l'effort entre pays concernés ;
- *critère de compatibilité avec les règles du commerce international* : ne pas conduire à des distorsions de concurrence entre entreprises de différents pays, notamment sur les marchés internationaux.

L'analyse économique montre que la façon la plus efficace de répartir l'effort de réduction des émissions de CO₂ entre les nations développées est de faire réaliser dans tous ces pays toutes les réductions d'émission dont le coût est inférieur à un niveau de référence commun. La façon la plus simple, la plus lisible pour tous ces acteurs et la moins onéreuse, en terme de coûts de gestion administratifs, de parvenir à ce résultat, consiste à instaurer, au sein des fiscalités existantes de tous ces pays, une taxation

1. C'est-à-dire l'ensemble des pays de l'OCDE ainsi que les pays en transition vers l'économie de marché.

2. L'ampleur de cette politique a permis à la France, entre 1980 et 1990, de réduire ses émissions de CO₂ par habitant plus qu'aucun autre État membre de l'Union européenne (-26 % contre une moyenne communautaire de -19,3 %) ; au sein de l'OCDE, seule la Suède (aujourd'hui membre de l'Union européenne) a connu une réduction plus forte de ce ratio.

3. Les États-Unis ont récemment déclaré publiquement qu'ils ne seront pas en mesure de tenir leur engagement de retour, en 2000, de leurs émissions de GES à leur niveau de 1990.

4. Une interprétation erronée de ce principe pourrait conduire à retenir, pour les prochaines années, les pays non OCDE comme seul terrain d'application des actions de prévention du changement climatique ; or on retarderait ainsi la nécessaire évolution du modèle culturel et technologique des pays développés, que le reste de l'humanité copiera plus tard. Pour éviter une telle dérive, il convient de garder à l'esprit que le développement d'une technologie nouvelle dans un pays industrialisé a des avantages futurs que ne présente pas la mise en œuvre, dans un autre pays, d'une technologie existante.

progressivement croissante sur le CO₂ à des taux coordonnés dans ces divers pays. Cette approche est aussi celle qui permet, au sein de chaque pays, de minimiser le coût de la réduction des émissions de CO₂. Une telle approche fiscale est à instaurer dans un espace suffisamment large pour tenir compte du cadre concurrentiel des activités auxquelles elle s'applique.

Par ailleurs, force est de constater que les connaissances scientifiques actuelles ne permettent pas d'élaborer de manière objective des scénarios d'émissions à horizon de 10 ou 20 ans, que les pays pourraient s'engager à respecter : les travaux du GIEC ont montré que le niveau de concentration atmosphérique de GES est davantage gouverné par le niveau cumulé des émissions de CO₂ entre aujourd'hui et la date de stabilisation, que par la forme de la courbe d'évolution de ces émissions au cours de ladite période, mais n'ont pas pu définir précisément ce qu'était un niveau de concentration « dangereux ». Dans ce contexte, les grandes tendances d'évolution des émissions sont réellement importantes : il s'agit d'obtenir une inflexion progressive des courbes d'émission de gaz à effet de serre des différents pays, ce qui implique une importance plus grande à attacher à l'évolution des « dérivées » qu'aux « points d'arrivée » dans un futur proche⁵.

En conséquence, il est préférable que le futur protocole comporte des engagements des Parties sur un ensemble de politiques et mesures qu'elles décideront de mettre en œuvre, plutôt que sur des objectifs d'émissions à des échéances précises. L'élaboration d'objectifs indicatifs est néanmoins utile pour dimensionner les politiques et mesures. Toutefois, les incertitudes qui existent sur les prévisions d'émissions⁶ rendront probablement très difficile, voire impossible, tout engagement précis sur les niveaux d'émissions à moyen ou à long terme.

La négociation internationale devra s'intéresser en priorité aux politiques et mesures qui demandent à être coordonnées au niveau international pour des motifs de compétitivité, et dont la mise en œuvre permettrait de progresser de manière significative en direction de l'objectif ultime de la Convention. On peut estimer prioritaire dans ce cadre :

- le recours à des instruments économiques, en particulier la fiscalité pesant sur les produits émettant du CO₂ et la suppression des subventions

directes ou indirectes qui encouragent la consommation d'énergie fossile ;

- la mise en place de dispositifs de nature réglementaire visant à améliorer l'efficacité énergétique de certains produits dont les marchés sont ouverts à la concurrence internationale (véhicules, équipement de combustion, appareils domestiques, etc.). Ces mesures permettraient aux pouvoirs publics d'accroître l'efficacité des instruments fiscaux dans des secteurs dont les marchés sont soumis à diverses imperfections (manque d'information, contrainte sur les capacités de financement, ...) ⁷.

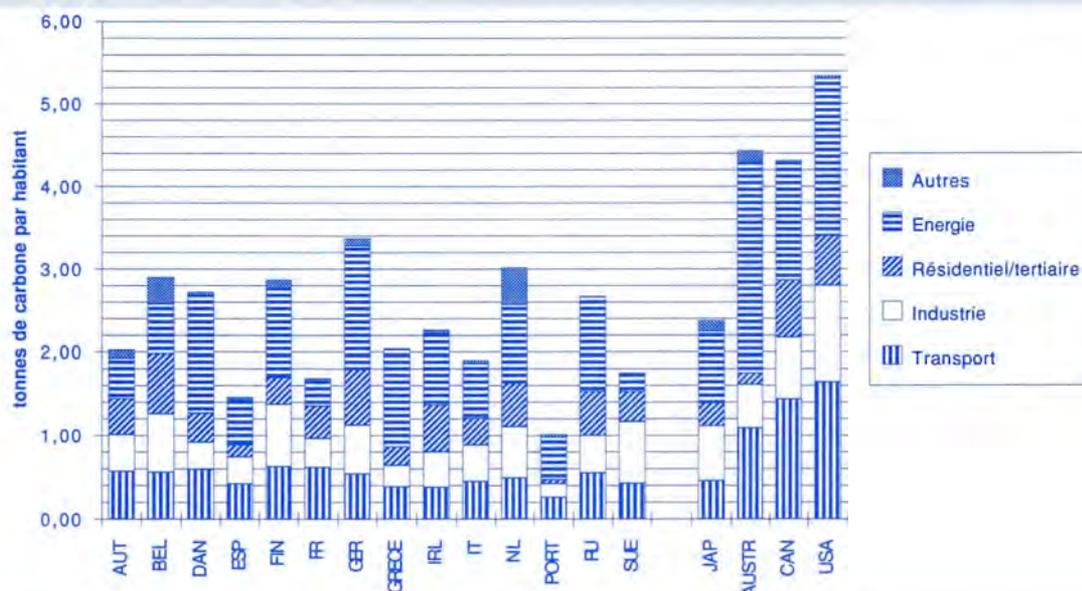
Parallèlement, il faut souligner l'importance que l'on doit attacher à faire disparaître dans tous les pays les subventions qui encouragent la consommation d'énergie fossile ; ces subventions peuvent notamment prendre la forme de prix intérieurs pour les combustibles ou carburants, inférieurs aux cours mondiaux, elles peuvent consister à vendre l'électricité en dessous de son prix de revient ou à subventionner certaines activités grosses consommatrices d'énergie fossile, par exemple dans le secteur des transports en n'imputant pas aux usagers de la route l'ensemble des coûts (infrastructure, congestion, insécurité...) qu'ils occasionnent.

Les modalités retenues pour organiser l'effort planétaire doivent être définies avec le souci de préserver une concurrence loyale entre les entreprises dans le cadre du commerce international. Il serait opportun que des dispositions semblables à celles de l'article 4 du protocole de Montréal sur les CFC soient prises afin d'éviter que les pays non Parties ne tirent un profit injustifié, dans le commerce international, du fait qu'ils ne participeraient pas à l'effort collectif de protection de l'atmosphère. Les délocalisations d'activités économiques, qui pourraient résulter de telles pratiques, seraient en effet à la fois inéquitables et inefficaces, sinon même nuisibles, au plan de la prévention du changement de climat.

PROGRÈS DANS L'EXÉCUTION DES ENGAGEMENTS DES PAYS EN DÉVELOPPEMENT

Le mandat de Berlin réaffirme clairement que les pays développés doivent être à l'avant-garde de la lutte contre le changement climatique ; parallèlement, il reconnaît la nécessité pour les Parties en

ÉMISSIONS DE CO₂ LIÉES À L'ÉNERGIE PAR HABITANT DE DIVERS PAYS DE L'OCDE (ANNÉE 1990)



Source : Secrétariat de la Convention Climat.

développement de continuer à progresser dans l'exécution de leurs engagements présents, c'est-à-dire, en particulier, de participer à l'effort global de prévention de l'effet de serre.

La participation, le plus rapidement possible, du plus grand nombre de pays est en effet souhaitable à plusieurs titres :

- le coût global de la prévention sera d'autant plus faible que la base d'intervention sera large et qu'il n'y aura que peu de restrictions quant aux actions pouvant être entreprises ;
- l'efficacité des actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre entreprises par les pays développés risque d'être considérablement réduite si elles induisent des augmentations d'émissions dans des pays se tenant à l'écart de l'effort de prévention, que ce soit par délocalisation d'activités productives ou comme conséquence d'une baisse du prix mondial de l'énergie fossile ;
- la plupart des analyses prospectives montrent que l'objectif ultime de la Convention ne pourra être atteint en l'absence d'inflexion du rythme d'augmentation des émissions de gaz à effet de serre des pays en développement⁸. Dans les pays en phase d'industrialisation, compte tenu des inerties, voire irréversibilités, qu'imposent certains sentiers technologiques (notamment dans le secteur énergé-

tique ou dans le secteur des transports), il est certainement plus efficace de considérer dès à présent des trajectoires de développement économes en carbone fossile.

5. Il convient de souligner que le « retour d'ici à la fin de la décennie des émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 1990 », qui est au cœur des engagements présents, ne garantit pas que les Parties progressent véritablement vers l'objectif ultime de la Convention ; cet engagement peut en effet être tenu à l'aide de mesures n'ayant qu'un effet transitoire et ne modifiant en rien les déterminants des évolutions à long terme des émissions.

6. Par exemple il existe une marge d'incertitude importante sur les prévisions d'émissions de CO₂ de la France à l'horizon 2000, de l'ordre de plus ou moins 7%. *Indépendante du programme adopté*, cette incertitude est liée, entre autres, aux aléas concernant la croissance économique, le prix du pétrole, le taux de disponibilité du nucléaire et le climat.

7. On peut faire remarquer que si les prix de l'énergie fossile incluent une composante relative à l'internalisation des effets négatifs d'effet de serre, il est de l'intérêt d'un pays (au titre de l'efficacité au sens strict, hors préoccupations d'effet de serre) de mettre en œuvre de telles mesures « d'accompagnement » et de veiller à leur succès.

8. Les projections d'émissions de CO₂ de l'AIE pour la période 1990-2010 tablent sur une augmentation de 1,2 à 2,5 milliards de tonnes de CO₂ dans les pays de l'OCDE et de 6 à 7 milliards de tonnes dans les pays en développement. À l'horizon 2010, les émissions de CO₂ des pays en développement pourraient être supérieures à celles de l'OCDE.

Les pays en développement pourraient ainsi :

- développer le plus rapidement possible, en tirant le meilleur parti du concours du Fonds pour l'environnement mondial, des « études pays » pour définir ce que pourrait être une stratégie nationale efficace de prévention de l'effet de serre ;
- mettre progressivement en place celles, parmi les politiques et mesures identifiées, qui sont également favorables au développement économique de ces pays (telles que l'élimination des distorsions encourageant les émissions de gaz à effet de serre, que ce soient certaines subventions à la consommation d'énergie fossile ou certaines incitations à une exploitation minière du capital forestier) ;
- participer aux actions coordonnées initiées par les pays développés, touchant les secteurs ouverts à la concurrence internationale, afin d'éviter que les entreprises localisées dans les pays en développement n'en tirent un profit injustifié dans le commerce international.

Pour s'acquitter efficacement de leurs engagements, les pays en développement auront besoin de l'assistance technique et financière des pays développés. Celle-ci doit pouvoir s'effectuer, soit par la voie multilatérale (contribution au Fonds pour l'environnement mondial), soit par la voie bilatérale, mais pour être efficace et éviter les comportements de « cavalier seul », doit revêtir un caractère obligatoire au même titre que les engagements domestiques. S'agissant de la contribution des pays développés à la prévention, dans les pays en développement, d'une pollution globale, la clé de répartition de l'effort des pays développés devrait évoluer à l'avenir de façon à tenir compte simultanément de la richesse relative de chaque pays et du niveau d'atteinte à l'environnement global (notamment le niveau des émissions de CO₂) des pays donateurs. ■



Diminuer le recours aux énergies fossiles... (Document CSTB)

REVUE DE LIVRES

OUVRAGES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

L'abondante bibliographie ne permet pas d'être exhaustif ; aussi, il s'agit là d'une sélection de quelques ouvrages, les uns d'intérêt général, les autres abordant tel ou tel aspect de la problématique de l'effet de serre : le volet économique, sociologique ou encore géopolitique...

Le dossier qui sera remis aux participants au colloque qu'organise la revue (28 novembre 1996 à l'ENPC-Paris) s'efforcera d'embrasser le panorama le plus large possible.

LE CLIMAT DE LA TERRE, UN PASSÉ POUR QUEL AVENIR ?

André Berger
De Boeck Université, 1992

Ce livre constitue vraiment une mine inépuisable de connaissances sur un sujet d'une grande complexité mais dont l'auteur réussit à nous proposer les meilleurs chemins pour un intelligent décodage.

Le climat ? C'est d'abord une longue histoire entrecoupée d'événements – les variations naturelles – dont bien des causes nous sont encore relativement peu connues (il faut souligner l'apport considérable de l'auteur à la théorie astronomique des paléoclimats), et puis ce sont les considérables bouleversements qu'a provoqués notre société moderne – André Berger parle de pollution du climat – qui fait de ce siècle celui de l'effet de serre.

Aucun des aspects du problème n'est laissé dans l'ombre, pas plus que ne sont oubliées l'évocation de l'effort de recherche et la forme qu'a prise la mobilisation politique à l'échelle internationale.

André Berger est mathématicien de formation mais il nous propose là un ouvrage aisément abordable

– n'a-t-il pas aussi voulu faire œuvre de vulgarisateur ? – et qui veut aussi susciter la réflexion.

Ce livre est celui d'un scientifique doublé d'un profond humaniste qui nous invite à partager cette idée que « nous n'avons pas seulement hérité la Terre de nos parents, nous l'empruntons aussi à nos enfants. »

J. G.

LE DEVENIR DES CLIMATS

Robert Kandel
Hachette, 1995

Un météorologue s'exprime ici pour un large public, sans diagramme ou schémas complexes. Ceci ne l'empêche pas d'évoquer avec esprit de finesse l'ensemble des connaissances, des démarches et des problèmes que posent les perturbations climatiques dues à l'activité humaine. Cette nouvelle édition (la première est de 1990) est augmentée d'un dialogue avec Dominique Lecourt, qui a également préfacé l'ouvrage, sous l'angle de l'histoire des sciences et des techniques. Il y pose une question importante : « Le fatalisme climatique n'a-t-il pas pour effet d'esquiver les véritables termes socio-économiques dans lesquels se pose la terrible question du développement du tiers-monde, et donc d'orienter, silencieusement, sous caution scientifique, sa solution dans le sens d'un prolongement de la tendance actuelle : celle d'un sous-développement aggravé ? » Question à laquelle vient faire écho une remarque de Robert Kandel : « Mais avec l'expansion de la religion du marché, la recherche non commerciale a-t-elle encore un avenir ? Faut-il effrayer les gens pour qu'ils consentent à financer une telle tentative de regarder un peu plus

loin que le bout de son nez ? » Ceci fait entrevoir un nouveau rôle des politiques et des médias ô combien difficile. On a beaucoup souligné la bêtise des autorités françaises d'avoir répandu l'information rassurante que le nuage de Tchernobyl s'était arrêté à la frontière, mais *a contrario* les battages alarmistes fondés sur des déductions erronées sont destructeurs du sens si délicat à élaborer quand la réalité est d'une telle complexité.

N. B.

GROS TEMPS SUR LA PLANÈTE

Jean-Claude Duplessy,
Pierre Morel
Ed. Odile Jacob, coll. Points, 1990

Un géochimiste et un géophysicien, éminents spécialistes tous les deux, conjuguent leurs connaissances et nous invitent à les suivre dans ce qui pourrait apparaître aux yeux de certains être une épopée : celle des climats.

Aux solides références historiques (Georges Duby, Emmanuel le Roy Ladurie) se greffent les notations que nous apportent les premières observations à caractère scientifique, au 19^e siècle notamment. Un long et riche développement sur la paléoclimatologie et le champ considérable des techniques qu'elle met en œuvre permet de renvoyer chacun à une vision autrement plus humble de sa condition de citoyen de la planète : tout a commencé à changer, les activités humaines aidant, et il ne suffit plus désormais aux hommes de regarder dans le passé pour prédire l'avenir.

Une « notice pour les usagers de la Terre », petit précis pour essayer de comprendre « comment ça marche », nous introduit dans la ronde des cycles biogéochimiques,

dans les mécanismes de l'effet de serre et les conséquences d'importantes variations climatiques.

Aux inquiétudes de l'homme, Jean-Claude Duplessy et Pierre Morel apportent les réponses qu'on attend des scientifiques : qu'ils exposent clairement ce qu'ils savent.

Ils le font avec rigueur ; oui, il y a « gros temps sur la Planète », mais les menaces qui planent – crise climatique, crise biochimique et écologique, crise démographique – sont de celles contre lesquelles il est encore possible d'agir.

Entre l'acceptation d'une humanité naturellement prédatrice et l'écolo-catastrophisme, les auteurs proposent une autre voie pour notre société : que les choix qui devront inéluctablement être faits soient fondés sur la connaissance de la réalité objective plutôt que sur l'illusion anthropocentrique. Ils s'emploient dès lors à remplir le contrat qui a été assigné aux scientifiques. Leur livre est une leçon de rigueur ; il est aussi une œuvre de raison.

J. G.

LA TERRE BRÛLE-T-ELLE ?

L'effet de serre et le réchauffement de la planète

Cédric Philibert
Ed. Calmann-Lévy, 1990

Un titre volontiers dévastateur... pour un sujet qui risque de le devenir bien plus encore. La formule, pour réductrice qu'elle soit, pourrait résumer la thèse que Cédric Philibert entend placer au cœur de sa réflexion.

Disons le tout net : ce livre veut nous bousculer et il y réussit parfaitement ; non pas tant parce que l'auteur possède un véritable talent d'écriture et le sens de la formule qui « fait mouche », égales qualités qu'il met au service d'une cause qui le mérite, et que de ce fait il ne peut laisser indifférent, mais plutôt parce que sa connaissance précise de toutes les composantes du sujet – économique, sociologique, écologique, historique et politique – sert une foi qu'on imagine encore intacte dans la sagesse des hommes. Que d'idées reçues battues en brèche ! Que de fausses évidences bouscu-

lées ! S'approvisionnant aux meilleures sources scientifiques, avec des mots simples, non sans un certain humour souvent, Cédric Philibert dit les vérités qui touchent « là où ça fait mal » ; il dit aussi les incertitudes scientifiques sur le rythme, l'ampleur et la répartition géographique du réchauffement et de ses conséquences, mais affirme avec force qu'elles ne plaident ni en faveur de l'inaction, ni pour une action qui débiterait plus tard ; elles militent au contraire en faveur d'une action immédiate.

On devra prendre des « décisions dures sur la base de connaissances molles », pour reprendre l'expression du sociologue anglais Ravetz parlant de la couche d'ozone, mais le cas de l'effet de serre n'est guère différent.

Ce livre a été écrit dans les premiers mois de 1990, alors que s'affirmait pour de nombreux responsables politiques l'urgence d'une nouvelle organisation de la planète. Où en sommes-nous, six ans après ?

Bien sûr, Rio est passé par là, puis la Convention cadre des Nations-Unies a été « approuvée au nom de la Communauté », le sommet de Dublin a existé...

Mais « les remèdes qui existent et qui supposent, du Nord au Sud, une bataille solidaire » ont-ils été réellement mis en œuvre ? Cédric Philibert les appelait de ses vœux, sans se méprendre sur la difficulté d'aboutir à des solutions justes et équitables, et qui préservent les chances d'un développement durable. De nombreuses et graves interrogations demeurent, de tous ordres ; la communauté scientifique et les experts ont de leur côté accompli une tâche considérable ; mais les États ?

Souhaitons que l'auteur nous propose une vision actualisée ; la pertinence de ses analyses rendra le nouvel exercice aussi profitable.

J. G.

LES CLIMATS DE LA TERRE

Bruno Voituriez
Presses-Pocket, coll. Explora, 1992

Ce petit livre de l'ancien responsable du programme « Océan et Climats » de l'IFREMER montre

bien à quel point l'ampleur des variations climatiques et la puissance de leurs manifestations ont toujours fasciné les hommes, lesquels n'ont longtemps bâti, et depuis la nuit des âges, qu'une connaissance empirique qui s'alimentait aux sources de la mémoire.

Longtemps aussi, les modifications du climat ont paru relever d'une certaine fatalité jusqu'à ce que les acquis de la connaissance scientifique et la naissance, puis le développement de la paléoclimatologie montrent que ces phénomènes peuvent trouver un début d'explication...

Aujourd'hui on rationalise l'étude des climats à l'aide de modèles mathématiques, on reconstitue leur passé et on dispose de quelques outils pour prévoir leur évolution, dont l'importance est déterminante pour l'avenir de la planète.

Cinq chapitres, qui sont autant d'étapes dans la connaissance : les mécanismes du climat, les climats du passé, pourquoi le climat évolue, le climat et l'effet de serre et la prévision du climat. Bruno Voituriez brosse le tableau d'un « savoir minimum » qui encourage à poursuivre plus encore dans les voies tracées.

Personne en effet ne sait l'ampleur ni le rythme des modifications que connaîtra le climat. « En toute incertitude », il faut cependant s'y préparer et prendre à l'avance les décisions qu'elles risquent d'imposer sans attendre la confirmation ou l'infirmité par l'expérience, de nos prédictions pour agir.

Il sera alors trop tard ; réduire l'incertitude : voilà la priorité.

J. G.

CLIMATS SOUS SURVEILLANCE, LIMITES ET CONDITIONS DE L'EXPERTISE SCIENTIFIQUE

Philippe Roqueplo
Economica, 1993

Après ses travaux sur la culture technique et le partage du savoir, c'est dans le champ de l'environnement que Philippe Roqueplo poursuit son analyse sociologique de la science. S'appuyant sur la clarification qu'il avait élaboré sur

la question des pluies acides (*Pluies acides : menaces pour l'Europe*, Economica, 1988) il met à l'épreuve une grille en la perfectionnant par une confrontation détaillée avec la problématique du changement climatique et de l'effet de serre. Ses idées sont largement considérées comme une étape fondatrice dans la compréhension du rôle, des positions et des objectifs des scientifiques, des experts et du monde politique. Il a été un des initiateurs du colloque « Les experts sont formels » organisé à Arc-et-Senans (voir *Environnement, Science et Politique*, Germes, 1991, et *La terre outragée, les experts sont formels*, revue Autrement, 1992). L'ouvrage débute par une interrogation sur la signification véritable de l'appel de Heidelberg. On se souvient que cet appel signé de plus de 50 prix Nobel et d'autres scientifiques prestigieux avait été lancé à la suite d'un colloque sur les nuisances industrielles à Heidelberg et s'adressait aux chefs d'État au moment du sommet de Rio pour réclamer que le contrôle et la préservation des ressources naturelles soient fondés sur des critères scientifiques et non sur des préjugés irrationnels. En effet, cet appel, à bien des égards trop hâtif dans ses affirmations et dans sa signification politique, a le mérite de questionner très fortement sur la place sociale du discours scientifique.

Après une mise en place des questions et des méthodes c'est en une cinquantaine de pages (qui sous une forme différente avaient servi d'introduction au colloque d'Arc-et-Senans) que l'auteur expose la clarification de la notion d'expertise, qui est ensuite appliquée et affinée dans les 250 pages suivantes dans un remarquable débroussaillage de la question de l'effet de serre où l'on trouve une synthèse bien documentée et informative des divers aspects, faits, incertitudes, enjeux, conflits, du problème.

Comme il l'explique dans son article du présent numéro, la catégorie des ingénieurs et la fonction d'expert sont étroitement liées, du moins si l'on entend – comme nous le faisons dans les *Annales des Ponts* – le terme d'ingénieur

dans sa situation d'intermédiaire entre science et enjeux sociaux, entre connaissance pure et décision. A cet égard la grille que constitue le chapitre 2 « Science et expertise » est une base importante – évidemment à critiquer et à perfectionner – qui pourrait être une sensibilisation utile dans les enseignements des jeunes ingénieurs. Dit sommairement, l'expert est un scientifique en situation d'obligation de réponse. Alors que la communauté scientifique « élabore une connaissance raisonnable aussi objectivement fondée que possible, intégrant la conscience collective de ses propres limites et capable de dénoncer la témérité de ceux qui la franchissent », la fonction d'expertise est différente : « quelle que soit la volonté de consensus qui anime un groupe d'experts, leur confrontation est, en tant que confrontation d'experts, structurellement conflictuelle ; au contraire : quels que soient les conflits qui opposent des scientifiques entre eux, une controverse scientifique est, en tant que scientifique, animée par l'utopie de la convergence et de la constitution d'un entendement objectif ». Finalement « c'est cette interface entre monde scientifique et opinion publique qui constitue le lieu stratégique majeur tant de la prise de décision politique que de l'expertise scientifique ».

N. B.

LA FRANCE ET L'EFFET DE SERRE

Ministère de l'Environnement
ADEME
Avril 1995

Cette plaquette d'une trentaine de pages présente d'une manière synthétique le problème de l'effet de serre et la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques avant d'exposer la situation de la France vis-à-vis de l'effet de serre.

Un panorama est ensuite proposé des principales politiques et mesures mises en œuvre par la France pour respecter les engagements pris à Rio de Janeiro en 1992, et qui concernent notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Sont

également présentées les principales actions de coopération internationale et les contributions françaises à la recherche sur les changements climatiques.

J. G.

L'EFFET DE SERRE

M. Bright, C. Delcoigne
Ed. Gamma-Ed. Héritage, coll.
Le monde qui nous entoure, 1992

Les tout jeunes adolescents puiseront dans ce petit livre fort intelligemment conçu et agréablement illustré l'essentiel de ce qu'il faut savoir des causes, naturelles d'abord, mais aussi et surtout provoquées par les activités de l'homme, qui contribuent à aggraver l'effet de serre.

Un inventaire est dressé des conséquences qui pourraient atteindre notre planète dans l'hypothèse d'un important réchauffement du climat : les bouleversements considérables dans la flore et la faune, l'élévation du niveau des mers qui en résulteraient sont évoqués en termes simples, exempts d'une inutile dramatisation, ce qui n'empêche nullement que les enjeux soient clairement posés et que quelques voies soient tracées pour aller vers un rétablissement de l'équilibre, notamment une utilisation rationnelle des énergies fossiles, un plus grand développement et le reboisement là où une inutile déforestation a détruit les écosystèmes.

J. G.



L'EFFET DE SERRE

Tony Hare, Louis Morzac
Ed. Gamma-Ed. Héritage, coll.
Sauvons notre planète, 1991

Un ouvrage qui s'adresse aux jeunes esprits curieux et sensibilisés aux questions touchant l'environnement. Les faits sont présentés dans un style tout de concision et de clarté, utilement appuyé par des illustrations d'excellente qualité, la conception de l'ensemble ne pouvant qu'éveiller l'intérêt et susciter la réflexion.

Ce petit livre est « militant », et la cause est juste ; l'un de ses principaux mérites est bien de montrer que la voie est étroite entre le choix d'un modèle de développement différent et la sauvegarde de notre planète.

C'est l'affaire de tous : des responsables politiques, des scientifiques, des industriels, des citoyens... et des jeunes lecteurs aussi, dans leurs comportements quotidiens.

J. G.

L'EFFET DE SERRE

Jean-Pierre Lepetit
Cahiers de prospective,
InterÉditions, 1992

EDF propose là sa contribution au débat alors ouvert dans le contexte de la Conférence des Nations-Unies sur l'environnement et le développement devant se tenir quelques semaines plus tard. Un exposé solidement documenté, qui s'attache à l'essentiel des causes du phénomène, brosse également le tableau des questions qui se posaient alors à tous les acteurs.

L'intérêt de ce document – nous sommes quatre ans après, et depuis, les conférences internationales sur le sujet n'ont pas manqué – est aussi qu'il met au premier plan un volet particulier du problème : l'opinion publique. Peu d'auteurs s'en sont à ce point préoccupés ; et pourtant il s'agit là d'un sujet à propos duquel les politiques qui devront tôt ou tard être mises en œuvre auront des conséquences sur la vie quotidienne des individus.

Comment les associer aux choix futurs ? Si la question n'est pas posée dans ces termes par

l'auteur, on comprend bien qu'il perçoit une opinion publique encore peu sensibilisée à des conséquences qu'elle sait alors lointaines. Comment alors ne pas comprendre que les incertitudes scientifiques, qui continuent de conduire à des prises de position contradictoires, entretiennent son ignorance ou, au pire, la laissent désemparée ! C'est ce qui résultait de sondages effectués il y a quatre ans... Quelque chose a-t-il changé ? Poser la question, n'est-ce pas aussi y répondre ?

L'évocation de la relation effet de serre/énergie nucléaire permet à Jean-Pierre Lepetit de faire passer ce discret message : entre les deux, la majorité de nos 1500 compatriotes sondés préfèrent les centrales.

Laissons aux lecteurs de 1996 le soin d'apporter la conclusion qu'ils voudront... La prospective est une science bien difficile ; ce cahier réussit cependant à nous prouver que l'honnêteté intellectuelle, l'objectivité scientifique et l'appel à la responsabilité des citoyens – pour autant qu'ils sont parfaitement informés – sont choses tout à fait conciliables.

J. G.

RAPPORT N° 31 : L'EFFET DE SERRE

Académie des sciences,
nov. 1994
Lavoisier, tec & doc

Si l'on partage les registres de discours à propos de l'effet de serre suivant le type de préoccupations : les scientifiques, les méthodologistes, les experts, les politiques, ce deuxième rapport de l'académie des sciences se positionne clairement dans le registre des scientifiques ainsi que le montre la composition du groupe de travail qui l'a élaboré. Il s'agit de précisions apportées au précédent rapport d'octobre 1990.

Les scientifiques amendent leurs affirmations antérieures. 1) La notion de potentiel d'échauffement global (inventée pour permettre aux économistes de parler en « équivalents CO₂ ») n'est pas scientifique ; elle dissimule la réalité plus complexe due aux non-linéarités des effets. 2) Les obser-

vations climatiques précises de ces dernières années restent sans relations claires avec les mesures de CO₂ effectuées durant le même temps. 3) Le bilan du cycle de carbone reste partiellement inconnu. 4) Les aérosols et la durée de leurs effets diminuent la précision des affirmations, etc. L'étude de l'océan profond est une connaissance importante qui manque à la compréhension des phénomènes. Le groupe de travail a beau conclure « on ne pourra pas indéfiniment, jusqu'à la moitié ou la fin du siècle prochain, déverser tant de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sans que des conséquences sur les climats ne se fassent jour » le message est surtout que le problème est beaucoup plus complexe qu'on avait imaginé précédemment, et qu'il importe de ne pas faire dire à la science n'importe quoi.

En effet, chacun son rôle, ce rapport est une bonne illustration de la pertinence d'une des distinctions proposées par Philippe Roqueplo entre scientifiques et experts : l'expert interpellé en vue d'une décision est en situation d'obligation de réponse, pas le scientifique.

N. B.

LE RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE

OCDE
OCDE poche, 1995

Rapport du groupe de travail n° 1 du comité de politique économique (oct. 1994) de l'OCDE. Ce livre axé sur les mesures envisagées par les pouvoirs publics, les procédures internationales et l'état des négociations est un recueil de données et une explication des problématiques physiques et économiques d'une remarquable clarté.

On y trouve les informations structurées sur les textes officiels, notamment un résumé de la CCCC (Convention Cadre sur les Changements Climatiques, Rio 1992), une analyse des mesures envisageables pour prévenir les changements climatiques, une description des stratégies des pouvoirs publics, l'étude des incidences fiscales d'une taxe sur le

carbone et une discussion de la question de l'application conjointe (coordination des politiques et moyens de compléter les répartitions inégales des coûts entre les pays).

Les notions importantes de *politique sans regrets* (mise en œuvre de mesures susceptibles de réduire les émissions de GES sans provoquer de diminution de production), de *fuites de carbone* (évolution des émissions de carbone dans les régions non adhérentes aux accords suscitée par les efforts de réduction dans les régions qui ont souscrit l'accord CCCC) sont largement explicitées et commentées. Les projections font souvent appel au modèle GREEN (General Equilibrium Environmental Model) de l'OCDE. Avec les annexes documentées sur les divers scénarios, sa bibliographie, son glossaire, ce petit livre constitue une somme de connaissances indispensable à qui veut s'exprimer pertinemment sur ce sujet.

N. B.

PROPOSITION MODIFIÉE DE DIRECTIVE DU CONSEIL INSTAURANT UNE TAXE SUR LES ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE ET SUR L'ÉNERGIE

Commission des Communautés européennes, mai 1995

Ce texte est la nouvelle version d'une ancienne proposition de directive, dont le Conseil avait été saisi en 1992, élément de la stratégie globale en vue de stabiliser les émissions de CO₂ dans la Communauté en l'an 2000 à son niveau de 1990. Celle-ci n'avait pu être adoptée pour de nombreuses raisons. On citera : le désaccord sur l'assiette des énergies taxées, le mode de calcul des taux, la « neutralité » fiscale... la liste serait longue des oppositions suscitées par ce texte qui, en revanche, introduisait une « clause de conditionnalité », c'est-à-dire subordonnant l'application de la taxe à la mise en œuvre de mesures équivalentes dans les autres pays de l'OCDE. Quatre ans plus tard, l'occasion est donnée de reprendre, sur des bases modifiées, le débat amorcé en 1992, en lui incorporant les données

réunies au mois d'avril 1995 lors de la conférence de Berlin des Nations Unies sur le changement climatique.

La proposition modifiée prévoit de substituer à l'instauration d'une taxe communautaire un mécanisme « à double détente ». Pendant une période transitoire, les États membres appliquent, s'ils le souhaitent, une taxe sur les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie en s'efforçant de faire converger les taux nationaux vers des « taux objectifs », par ailleurs fortement réévalués. Mais le but reste le même : instaurer avant le 1^{er} janvier 2000 un régime de taxation harmonisé dans l'ensemble des pays de l'UE.

Le nouveau projet maintient la taxation de toutes les formes d'énergie, qu'elles soient ou non productrices de CO₂, à l'exception des énergies renouvelables. Le principe de neutralité fiscale est abandonné parce qu'il contrevient aux règles de subsidiarité, comme est supprimée la clause de conditionnalité, cette disposition présentant, aux yeux de la Commission, l'inconvénient majeur de retarder indéfiniment la mise en œuvre de la taxe alors qu'en la matière l'UE se doit de montrer l'exemple. Le sort qui est réservé au nouveau projet est, pour des raisons souvent différentes de 1992, globalement négatif, comme en témoignent les avis des délégations pour l'UE de l'Assemblée Nationale et du Sénat.

- Mauvaise définition de l'assiette de la taxe (des énergies qui ne contribuent pas à augmenter l'effet de serre sont frappées).
- Par l'abandon de la clause de conditionnalité, il y a risque de pénalisation de l'industrie européenne par rapport à la concurrence, alors que l'Europe communautaire ne contribue que pour moins de 15 % aux émissions mondiales de CO₂.

- S'ajoute une autre exigence : que les pays de l'OCDE – les États-Unis en particulier – procèdent à une forte augmentation de leur fiscalité sur l'énergie pour que le passage à une taxe harmonisée dans l'UE soit envisageable.

Là sont les raisons majeures qui ont conduit les Assemblées parlementaires saisies de ce projet

d'« écotaxe » à émettre les doutes les plus sérieux sur son efficacité. Les mêmes assemblées ont par ailleurs jugé que les mesures non fiscales déjà instituées dans la Communauté (normes techniques, codifications, programmes d'incitation aux économies d'énergie, politiques de recherche et de promotion en faveur de l'efficacité énergétique) avaient déjà largement prouvé leur caractère positif. Aussi, et dans un bel ensemble, elles ont invité le Gouvernement à s'opposer à la proposition modifiée de directive. La route à parcourir promet décidément d'être encore longue et semée de difficultés avant que la Commission propose une réglementation suffisamment consensuelle à l'égard de la lutte contre les émissions de dioxyde de carbone.

J. G.

ÉCONOMISER LA PLANÈTE

Claude Allègre
Fayard, 1990

Beaucoup de fougue et de verve, des piques à tout le monde, aux scientifiques qui croient connaître la vérité, aux experts, aux administrations, aux hommes politiques et aux écologistes dont Michel Serres qui fait montre « d'une logique très compacte ». Six ans se sont écoulés, quelle impression fait aujourd'hui la lecture de ce livre dont le titre, astucieusement choisi, avait fait florès ?

Une accumulation de solutions « y a qu'à » trop hâtivement proposées. Après avoir résolu le problème de la nappe phréatique bretonne en mettant les lisières au fond des grandes fosses marines, Claude Allègre encourage la maîtrise du climat par l'homme en ensemençant la haute atmosphère avec de l'oxyde de soufre (SO₂) pour faire pleuvoir, etc.

Il s'agit d'économiser la planète, pas un mot cependant sur l'actualisation et les taux d'intérêt. Si Claude Allègre aime les risques c'est son affaire, mais on manque moins d'idées audacieuses que de sagesse pour conduire le vivre ensemble.

N. B.

**POUR UNE POLITIQUE
SOUTENABLE DES TRANSPORTS
RAPPORT AU MINISTRE
DE L'ENVIRONNEMENT**

Dominique Dron
et Michel Cohen de Lara
la Documentation française, 1995

Ce rapport inaugure les travaux de la nouvelle Cellule de prospective et stratégie mise en place en 1994 au ministère de l'Environnement. Il s'agit de suggérer les pistes d'une réforme globale de la politique des transports en France pour mieux prendre en compte les impératifs environnementaux : cet ouvrage s'adresse donc, au-delà de l'environnement, aux administrations responsables des transports, de l'aménagement du territoire ou du budget. L'ensemble fournit une importante somme d'informations sur l'impact des transports, considérés pour tous les modes tant pour les voyageurs que pour les marchandises, à partir des conclusions de trois groupes de travail (déplacements urbains, transport interurbain et aspects technologiques transversaux). Par delà les constats classiques (mais amplement documentés) tels que la part croissante du transport routier dans la pollution de l'air, l'ouvrage informe sur des nuisances moins connues, comme la pollution qu'engendrent les deux-roues ou le transport aérien, ou les coupures spatiales créées par les grandes infrastructures.

Ce rappel des « pressions sur l'environnement » sert à formuler des objectifs et recommandations en matière de politique des transports. Pour le long terme, l'ouvrage est sous-tendu par le *principe de précaution*, qui incite à prendre aujourd'hui, même en l'absence de risques formellement établis, des mesures fortes pour protéger les générations de demain (la lutte, prioritaire, contre l'effet de serre relève d'un tel « pari »). A court terme, il s'agit de lutter contre la pollution atmosphérique, le bruit et la pollution de l'eau, et de requalifier les « territoires artificiels » créés par les grandes infrastructures. Le ton d'ensemble pourrait paraître malthusien (en insistant sur le caractère « subi » de certaines mobili-

tés, le rapport tend à minorer les bénéfices sociaux d'évolutions telles que la démocratisation de l'avion). Mais il faut saluer des prises de position fortes sur des objectifs qualitatifs (redonner une valeur sociale au silence, ou même à la contemplation des étoiles) et la mise en question des visions « uniformisantes » de l'espace, comme celles de l'article 17 de la loi d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire dont le principe d'accessibilité universelle à un échangeur d'autoroute ou une gare TGV risque de contribuer à la polarisation du territoire et à la destruction d'avantages comparatifs en termes de qualité de vie des zones promises au « désenclavement ». Sont également mis en cause des investissements autoroutiers de moins en moins rentables : à ce titre et à d'autres, l'intégration systématique de critères environnementaux pour l'évaluation des projets d'infrastructures pourrait servir de garde-fou.

L'ensemble est un plaidoyer iconoclaste pour le rôle régulateur de la puissance publique, à qui est reconnue une marge de manœuvre certaine. Notons aussi une utilisation systématique des solutions méthodologiques des rapports et des lois et circulaires déjà en vigueur (rapports Boiteux et Haenel, circulaire Bianco). Ceci permet de proposer *hic et nunc* des instruments d'amélioration du bilan écologique des transports de façon souvent très précise (normes de pollution de l'air ou de bruit, carburants idéaux en fonction des véhicules et des usages) malgré quelques recommandations plus superflues (comme l'offre de « service complet au client » pour le secteur logistique). La monétarisation des externalités étant reconnue, un peu par défaut, comme le meilleur des cadres pour l'action, le principal instrument proposé est la fiscalité, maniée sur le principe du pollueur-payeur, mais des mesures d'ordre réglementaire resteront nécessaires (par exemple, pour ne pas pénaliser les populations défavorisées, les « zones de silence » à définir sur l'ensemble du territoire devront être à la fois gratuites et strictement réglemen-

tées). Le besoin d'un débat public plus démocratique autour de l'évaluation des projets justifie l'idée d'un fonds « 1/1000 concertation » prélevé auprès des maîtres d'ouvrage pour financer des contre-expertises. Il faut aussi relever la proposition de « super autorités organisatrices » intercommunales de transport et d'urbanisme incluant les pouvoirs, aujourd'hui municipaux, de réglementation de la circulation.

On peut regretter en revanche la faible part consacrée au transport des marchandises dans les zones urbaines, alors qu'il va constituer un souci écologique majeur pour les villes, et l'absence d'une stratégie forte vis-à-vis de l'Union européenne, acteur croissant des politiques de l'environnement. Mais dans l'ensemble le rapport met très utilement en valeur les contradictions des politiques actuelles (lorsqu'elles s'accrochent à une fiscalité favorable aux véhicules les plus polluants ou interdisent les « péages de maîtrise des déplacements »), tout en proposant des solutions immédiatement opérationnelles. Il existe dorénavant en France une étude globale des enjeux environnementaux des transports (le ministère de l'Environnement s'enhardit d'ailleurs là hors de son périmètre traditionnel), dans laquelle plusieurs débats d'actualité s'inscrivent déjà, du stationnement gratuit pour les véhicules électriques à la rédaction du projet de loi sur l'air, en passant par la production du diester ou la promesse de pistes cyclables à Paris. A l'inverse, les travaux préparatoires des schémas d'aménagement et de développement du territoire semblent indiquer qu'une logique d'offre d'infrastructures calée sur des prévisions de forte croissance des trafics continue à prédominer. Le contenu plutôt routier et peu urbain qui vient d'être annoncé pour le nouveau PRE-DIT (programme de recherche dans les transports terrestres) augure aussi mal de la prise en compte des recommandations de cet ouvrage en matière de recherche.

Lactitia Dablanç

ÉNERGIES NOUVELLES POUR L'AUTOMOBILE

Jean Orselli
Paradigme, 1992

Replacée dans la problématique de la pollution atmosphérique et celle de l'effet de serre, la question des énergies utilisables pour les transports individuels est abordée à la fois sous l'angle d'une analyse économique des ordres de grandeurs des effets selon les choix, et sous l'angle des faisabilités techniques des solutions : gaz naturel, gaz de pétrole liquéfiés, biomasse et carburants oxygénés, véhicules électriques, moteurs à hydrogène, pile à alumi-

nium. L'ouvrage constitue une somme d'informations importante. En cette situation où les faits, les causes présumées, les effets supposés ou calculés et les liens de causalité sont entachés d'incertitudes conditionnelles emboîtées, l'auteur adopte un point de vue peu alarmiste qui le conduit peut-être à sous-estimer l'avantage économique d'anticiper dans la concurrence internationale les mutations technologiques. Au demeurant, son éclairage reste loin devant les inerties naturelles des acteurs sectoriels.

N. B.

VOCABULAIRE DE L'ENVIRONNEMENT, GLOSSARY OF ENVIRONMENTAL TERMS, UMWELTWORTSCHATZ

Tahirou Diao,
Xavier Isaac, Martin Klotz
Lavoisier Tec et Doc, 1996

Cet ouvrage regroupe et traduit pour la première fois l'essentiel du vocabulaire français, anglais et allemand spécifique à chaque domaine de la protection de l'environnement : écologie, eau, air, déchets, recyclage, pollution des sols, management de l'environnement, soit 4 000 entrées dans chacune des trois langues.

J. G.

AUTRES OUVRAGES

LES POLITIQUES DE L'EAU EN EUROPE

Sous la direction de Bernard Barraqué, les auteurs de cet ouvrage ont réalisé des analyses précises et rigoureuses des politiques de l'eau dans quinze pays d'Europe. Ils se sont imposé un même plan :

- I) géographie et climat ;
- II) gestion des services ;
- III) administration et législation.

Cela permet au lecteur de comprendre et comparer les référentiels de chaque pays.

L'approche est historique, politique et culturelle ; elle concerne principalement l'eau potable et les eaux usées et s'élargit dans le dernier chapitre à la gestion de la ressource en quantité et en qualité. Le lecteur découvre une description très documentée des acteurs et des pratiques dans les différents pays, qui permet à B. Barraqué de situer les évolutions techniques au regard de politiques, en référence aux enjeux de l'eau de ces dernières années. Il illustre le défi fondamental pour le prochain siècle.

La prise en compte par tous de la nécessité d'économiser, de gérer la ressource ; le débat gestion

publique, gestion privée ; la primauté de l'unité géographique ou de l'unité administrative.

En bref, l'importance de l'eau pour l'aménagement du territoire est en permanence présente dans ce livre, ce qui donne une image européenne spécifique pour les ingénieurs et les gestionnaires du domaine de l'eau dans le cadre de la construction.

Rémy Pochat

LE DÉBAT INTERDIT, MONNAIE, EUROPE, PAUVRETE

Jean-Paul Fitoussi
Arléa, 1995

Il ne peut être question en quelques phrases de rendre compte d'un livre aussi riche. Il s'agit d'un essai brillant contre une conception étroite et dogmatique de l'économie qui parvient à faire la loi de façon tyrannique en influençant les opérateurs des marchés financiers par des jugements sur la **crédibilité** des politiques économiques et monétaires. C'est contre cette censure de la pensée que s'élève le président de l'OFCE (Observatoire Français des Conjonctures Économiques) qui considère que l'éco-

nomique, le social et le culturel sont fondamentalement interdépendants. Dans une argumentation forte de plusieurs registres, quantitatif, historique, éthique, il présente les rouages de la machine économique sans nous infliger l'esotérisme de nouveaux modèles ou théories sophistiquées.

Un aspect important de la thèse part du constat que pour un ensemble de raisons la France se trouve à partir des années 90 avec les taux d'intérêts réels (taux nominal moins taux d'inflation) parmi les plus élevés du monde. Ceci met en difficulté les entreprises quand les investissements ne sont pas aussi rémunérateurs que les placements financiers. Une telle politique qui est un véritable traitement contre l'inflation, est, en cette période d'inflation quasi-nulle, une des explications du fait que la France détient des records en matière de chômage. L'articulation de cette problématique avec la construction européenne est délicate et Jean-Paul Fitoussi en traite de façon convaincante. Il est favorable à la monnaie unique, donne en sa faveur plusieurs arguments notamment de diminuer la spéculation entre les

monnaies européennes, et prend un certain recul vis-à-vis de la technicité des critères de convergence, la décision étant avant tout affaire de volonté politique. Cependant, la question est complexe et on trouve aussi bien dans son livre un certain nombre d'arguments qu'on pourrait avancer contre la monnaie unique, notamment le problème du poids décisionnel de l'Allemagne en matière financière, de l'attitude de l'Angleterre et de l'Italie et le fait qu'un paramètre essentiel pour le long terme économique de la France est finalement l'enthousiasme que les Français placent dans leur avenir et donc l'importante priorité de la lutte contre le chômage.

Or il est un autre argument technique en faveur de l'euro, qui en cette période d'internationalisation des activités, est celui qui peut influencer le plus les liens entre les opérateurs financiers et l'activité des entreprises, et par voie de conséquence être la base d'une position politique : l'analyse de la logique financière et le fonctionnement des produits dérivés montre explicitement qu'en cette période de fluctuation des monnaies, la rationalité des agents économiques, c'est-à-dire les projections optimales en avenir incertain, dépendent de la devise utilisée pour faire les comptes. Il est vrai qu'il y a une dollar-rationalité qui pour nous n'est pas autre chose qu'une irrationalité. Dès lors, comme les marchés traduisent les projections des intervenants en fonction de leur force économique, l'élaboration en Europe, première puissance commerciale du monde, d'une écurationalité n'est certainement pas vaine. Elle peut infléchir l'ordre économique mondial, plus de la moitié des échanges étant actuellement libellés en dollars.

Le livre de Jean-Paul Fitoussi montre que l'économie est un ensemble de mécanismes qui doivent rester des outils pour atteindre les buts qu'on s'assigne. Les problèmes d'environnement ne sont pas l'objet du livre mais on comprend largement à sa lecture combien il peut être laborieux de les intégrer dans le jeu économique.

N. B.

LA FORMATION SUPÉRIEURE DES INGÉNIEURS ET CADRES

Ed. Jean-Michel Place, 1995, 12, rue P. et M. Curie 75005 Paris

Si le sujet vous intéresse, n'hésitez pas à consacrer quelques heures à ces communications (réunies par Dominique Lecoq et Michel Trelluyer) d'un colloque tenu en avril 1994, à l'occasion du bicentenaire de l'X et du CNAM. Certains conférenciers se jugent, c'est la loi du genre, peu qualifiés pour parler du sujet. Mais comme tous sont perspicaces, cette lecture est instructive et donne à réfléchir.

D'abord vous y apprendrez (citons en vrac) que cet âne de Buridan, avec sa théorie de l'*impetus*, a gelé la Mécanique pour quelques décennies et comment se mêlent en société abeilles industrielles et frelons politiques. Vous découvrirez peut-être qu'une entreprise de dessins animés réalise le 3X8 sans équipe de nuit, par le travail à distance, en jouant sur les fuseaux horaires ; ou encore que l'on peut désamorcer un conflit de la batellerie en concoctant en une nuit un plan fictif que l'on accepte de démanteler le lendemain (technique ni forcément transposable ni à l'efficacité garantie !)

Plus sérieusement, ces textes révèlent deux types de difficultés, d'ailleurs liées :

– *qu'est-ce qu'un ingénieur ?*

- une personne qui prévoit, crée, organise, dirige, contrôle ou bien qui, avant tout, a accompli certaines études dites d'ingénieur ? Le Larousse ne tranche pas ;

- se rattache-t-il à la catégorie de travailleur manuel ou à celle nettement mieux considérée d'intellectuel ? Le débat est ouvert depuis l'Antiquité ;

- peut-il être à la fois ou tour à tour technicien, scientifique, économiste, intervenant, acteur social ? C'est Alain Touraine, seul sociologue parmi les conférenciers invités, qui prévient que, « en aucune manière, l'évolution ne doit se faire par un recul de l'esprit de production au profit de l'esprit de spéculation ou simplement d'échange », même s'il situe au XIX^e siècle l'âge mûr de l'Ingénieur, nous laissant craindre, mais il s'en défend, que nous en vivons actuellement sa sénilité ;

- doit-il « faire de la recherche », se former par la recherche ou se lancer dans le grand bain pour mériter son titre ? Quels effets auront ces différents parcours sur sa capacité à innover ?

– *quelles différences entre la France et le reste du monde ?*

- un exposé du président de la Technische Hochschule de Darmstadt montre comment s'est élaborée en Allemagne la formation d'ingénieur en différenciation de l'Université, puis la montée (?) vers un certain académisme (on peut sortir Dr. Ing. d'une TH) laissant un type de formation plus appliquée aux Fachhochschulen réclamant à leur tour le droit au titre d'ingénieur ;

- le fonctionnement d'une université américaine (Southern Methodist University, Dallas) nous est décrit par son Doyen, ingénieur français expatrié : on comprend que les mathématiques n'y sont pas le fleuron incontournable et que des moyens techniques modernes (enseignement à distance par satellite) y sont judicieusement employés ;

- on doit à Benoît Mandelbrot un exposé à bâtons rompus fort significatif : connaissant bien, pour les avoir tous deux pratiqués, les systèmes français et américain (E-U), il rapproche spontanément Grandes Ecoles (sans doute du groupe A) et Universités telles que MIT, Yale ou Harvard (à ne pas confondre, note-t-il aimablement, avec celle de Dallas) ; rattachées à elles, des Ecoles d'Ingénieurs dont « elles ne savent pas trop quoi faire » : intellectuellement, des boulets, mais en or massif, donc que l'on garde au pied. Cette lecture vous laisse la conviction que le paysage international est diversifié et qu'il faut au moins aplanir l'obstacle supplémentaire de la langue à cet ingénieur français qui y constitue malgré tout un point singulier ; surtout s'il a cherché un diplôme d'ingénieur non pas parce qu'il veut l'être, mais pour émettre un signal attestant de sa valeur et justifiant un certain rang dans la société. Même s'il s'agissait d'un colloque fêtant l'X et le CNAM, c'est surtout la première Ecole qui est sans doute visée par cette remarque pertinente du seul conférencier exerçant au CNAM : Jacques Lesourne, X-Mines. ■

Vidal Cohen

LES AUTEURS

JEAN-JACQUES BECKER

Polytechnicien, ingénieur du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Jean-Jacques Becker est docteur en économie de l'Université de Paris-Dauphine. Après avoir occupé différents postes au CEMA-GREF, où il a notamment effectué des recherches sur la valorisation énergétique de la biomasse, et au Commissariat général du Plan, chargé d'une mission sur les politiques agricoles, il travaille actuellement au sein de la Mission interministérielle de l'effet de serre au ministère de l'Environnement.

ANDRÉ BERGER

André Berger est docteur en sciences de l'Université catholique de Louvain où il enseigne la météorologie et la climatologie dans le cadre de l'Institut d'Astronomie et de Géophysique Georges-Lemaître qu'il dirige. Diplômé du MIT, docteur *honoris causa* de l'Université d'Aix-Marseille, ses travaux et recherches lui ont valu de nombreux prix et médailles internationaux. Spécialiste de la théorie astronomique des paléoclimats et de la modélisation des changements climatiques d'origine anthropique, André Berger est l'auteur de très nombreux livres, publications et communications. Il a notamment écrit *Le climat de la Terre, un passé pour quel avenir ?*, De Boeck Université, Bruxelles, 1992 (voir en revue de livres).

BERT BOLIN

Titulaire d'un doctorat d'État de l'Université de Stockholm, Bert Bolin y a longtemps détenu la chaire de météorologie. Ses activités de recherche l'ont amené à travailler dans les domaines de la météorologie dynamique et des cycles biogéochimiques. Initiateur du Programme global de

recherche sur l'atmosphère qui a préfiguré le Programme mondial de recherche sur le climat, Bert Bolin a été l'un des principaux artisans du Programme international géosphère-biosphère (PIGB). Il est titulaire de la médaille de l'OMM, du prix Tyler et du prix de la Planète Bleue et préside depuis 1988 le Groupe intergouvernemental sur le changement climatique (IPCC).

RAYMOND COINTE

Polytechnicien, ingénieur des Ponts et Chaussées, Raymond Coïnte est docteur de l'ENPC et titulaire d'un doctorat de l'Université de Californie. Maître de conférences à l'école Polytechnique, il est membre de la Mission interministérielle de l'effet de serre au ministère de l'Environnement.

JEAN-PIERRE ORFEUIL

Ancien élève de l'école des Mines de Paris, docteur en statistique mathématique, Jean-Pierre Orfeuil anime la division Économie de l'espace et de la mobilité à l'INRETS, où il travaille sur la mobilité quotidienne, les transformations de l'espace induites par l'accès croissant à l'automobile et les cultures de régulation. Il a participé au groupe d'experts chargé du deuxième rapport de l'IPCC pour les transports.

MICHEL PETIT

Polytechnicien, ingénieur général des Télécommunications, titulaire d'un doctorat d'État en sciences physiques, Michel Petit a occupé de nombreuses et importantes fonctions de direction au ministère de la Recherche et de la Technologie, au ministère de l'Équipement, au ministère des Postes, des Télécommunications et de l'Espace, et plus récemment, au ministère de

l'Environnement. Michel Petit est actuellement directeur général adjoint pour la Recherche à l'école Polytechnique.

PHILIPPE ROQUEPLO

Philippe Roqueplo est polytechnicien. Après avoir mené une carrière de chercheur à la Direction des Etudes et Recherches d'EDF (Programmation Dynamique en avenir aléatoire) et un enseignement de philosophie des sciences à l'Institut Catholique de Paris, il est entré au CNRS où il a effectué des recherches sur les conditions d'une maîtrise politique du développement technologique. Après avoir été détaché au ministère de l'Industrie puis de la Recherche et chargé du secteur Énergie au cabinet d'Huguette Bouchardeau, ministre de l'Environnement, il a ensuite mené des recherches sur l'affaire des pluies acides en Europe et sur celle de l'effet de serre. D'où son dernier ouvrage *Climats sous surveillance. Limites et conditions de l'expertise scientifique*, Economica, 1993 (voir en revue de livres).

ROBERT SADOURNY

Normalien, agrégé de mathématiques et docteur ès sciences physiques, Robert Sadourny enseigne la mécanique des fluides à l'école Polytechnique et la météorologie à l'Université de Paris VI. Directeur de recherche au CNRS, il a été jusqu'en 1996 responsable du laboratoire de Météorologie Dynamique (CNRS-ENS-X-Paris VI). Ses recherches sur la turbulence et sur la modélisation de la circulation générale atmosphérique et du climat lui ont valu la médaille d'argent du CNRS. Membre de l'Académie Europaea, il a notamment écrit *Le climat de la Terre*, Flammarion, coll. Dominos, Paris, 1994. ■