

*La santé de la Terre, un défi aux Universités **

André BERGER

Les universités interpellées

Le problème des interactions de l'homme avec la géosphère et la biosphère interpelle les Universités en cette fin de 20^{ème} siècle, sur deux points au moins : la remise en question des programmes d'enseignement et de l'organisation de la recherche, remise en question qui concerne principalement la collaboration entre disciplines et la formation à long terme des chercheurs.

La pluridisciplinarité de la recherche pour la santé de la planète est une nécessité urgente. La structure du système climatique et les problèmes multiples que soulève la compréhension des mécanismes qui régissent son comportement, requièrent une collaboration étroite entre physiciens, chimistes et biologistes pour écrire les équations qui gouvernent la dynamique de l'environnement global, et du climat en

* *Leçon donnée sur invitation à l'Université d'Aix-Marseille III le 27 avril 1990 et publiée dans la Revue des Questions Scientifiques (161-2, 1990, p.129-149)*

particulier ; mathématiciens, informaticiens et ingénieurs pour résoudre ces équations; géologues, palynologues, géochimistes, océanographes, géophysiciens et climatologistes pour acquérir les mesures indispensables à la compréhension des mécanismes qui régissent l'évolution du système, mesures qui concernent aussi bien l'état actuel que celui du passé ; économistes, sociologues, écologistes et médecins pour étudier l'impact de cette évolution sur la Société. Ce problème est malheureusement peu perçu au sein de nos universités où une structure classique reste définie par les politiques - conservatrices et individualistes la plupart du temps - des facultés, départements et autres unités.

D'autre part, la formation à long terme assurerait une préparation efficace aux chercheurs appelés à résoudre les problèmes que nous commençons seulement à entrevoir, mais dont nous avons la certitude qu'ils s'amplifieront au cours du temps, du fait de l'inertie du système et du temps caractéristique des phénomènes mis en jeu. Cette formation à long terme devrait être un des objectifs majeurs de nos universités, car il représente le meilleur investissement que l'on puisse faire pour l'avenir des jeunes et le développement de la Société. Nous devrions être soucieux de mettre en place une médecine préventive de la géosphère avant que ne s'impose la médecine curative, traditionnellement usitée pour la santé de l'homme.

La pollution globale

Il y a 200 ans, nous étions 1 milliard d'habitants sur Terre ; en 1930, nous sommes passés à 2 milliards ; en 1950, à 2,5 milliards et en 1988, nous avons officiellement franchi la barre des 5 milliards. En fait, le problème soulevé par cette augmentation du nombre d'habitants n'est pas l'explosion démographique en soi, mais le fait que la politique de développement de cette population ignore l'environnement et n'est pas adaptée à la rapidité de son accroissement. C'est la vitesse à laquelle la civilisation agresse l'environnement, plus que l'intensité, qui constitue le coeur du problème.

Cette agression, commencée dès le début de la Révolution Industrielle, a

créé une série de bombes à retardement que sont les pluies acides, le trou d'ozone et autre intensification de l'effet de serre. Bombes, car leurs effets risquent d'être importants pour les générations du 21ème siècle, si une tentative de désamorçage n'est pas entreprise à bref délai. A retardement, car ces effets ne seront visibles que lorsqu'il sera trop tard pour pouvoir les éviter.

Les exemples les plus connus de cette pollution sont certes les déchets, les pluies acides et le trou d'ozone. Chaque habitant dans nos pays est, en moyenne, responsable de l'émission d'une centaine de grammes de soufre par jour sous la forme de dioxyde de soufre. C'est ce SO₂ qui est à l'origine de l'acidité accrue des précipitations dans les régions industrialisées, lesquelles contribuent à détruire notre patrimoine artistique et les forêts. Celles-ci, en effet, soumises à un stress climatique et à une gestion basée sur le rendement immédiat plus que sur la protection à long terme, résistent mal à cette agression supplémentaire. Quant aux ordures ménagères, chacun d'entre nous en produit environ 1 kg par jour, sans prendre grand soin d'aucune récupération ni autre traitement. De plus, les fréons, créés exclusivement par l'homme, contribuent à détruire la couche d'ozone stratosphérique, principalement dans les régions polaires de l'Antarctique. Si ce phénomène, en soi, n'est pas particulièrement grave car au moment du minimum, en octobre, le rayonnement solaire est encore relativement faible, il nous donne toutefois la certitude de l'impact de l'homme sur son environnement. Il est donc révélateur que, tôt ou tard, si rien ne change, nous pourrions assister à une diminution de l'ozone stratosphérique global, bien en dehors des zones polaires. Cela pourrait conduire à une plus grande pénétration du rayonnement ultraviolet partout sur la Terre, à un accroissement des cancers de la peau et des affections oculaires, voire même à un affaiblissement du système immunitaire face aux maladies infectieuses.

Mais ces dernières années, c'est le réchauffement mondial imputable à l'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, qui a retenu toute notre attention. Cette hypothèse est, en effet, devenue plus crédible, tant pour les scientifiques que pour le grand public. La tendance générale des températures en surface au cours des années 1980 à 1990 a amené plusieurs chercheurs à déclarer que

le réchauffement mondial et l'élévation connexe du niveau de la mer avaient déjà commencé. D'autres, toutefois, continuent de mettre en doute la qualité et la distribution des données sur lesquelles l'hypothèse en question se fonde.

Mobilisation au plus haut niveau

Qu'en est-il au juste ? Peu de questions scientifiques ont autant retenu l'attention de tous ces dernières années. En particulier, l'examen des problèmes liés à l'atmosphère et au climat a été plus que jamais au centre des rencontres qui ont réuni, en 1989, des responsables politiques du monde entier. Cette prise de conscience accrue s'explique sans doute, en partie, par le succès de la Conférence de Toronto, organisée en juin 1988. La déclaration, publiée à l'issue de cette conférence, concluait en ces termes :

«L'atmosphère terrestre se modifie à un rythme sans précédent sous l'effet des polluants provenant des activités humaines. Ces modifications constituent une grave menace pour la sécurité internationale et ont déjà des conséquences néfastes dans de nombreuses parties du monde».

A la fin de 1988, l'Assemblée Générale des Nations Unies adoptait la Résolution sur la Protection du Climat Mondial pour les Générations Présentes et Futures. En mars 1989, le Premier Ministre britannique donnait le signal des rencontres au plus haut niveau consacrées au climat et à l'atmosphère, en convoquant une conférence intitulée «Sauver la Couche d'Ozone». Une semaine plus tard, se tenait à La Haye une réunion où 24 chefs d'Etat se sont penchés sur les problèmes que soulève la protection de l'atmosphère terrestre. Le 5 juin, dans le cadre de la Journée Mondiale de l'Environnement, une réunion internationale, lançait un appel à plus de recherche et d'éducation, à l'économie d'énergie et aux produits propres. Une semaine plus tard, un colloque sur la Planète Terre à l'invitation du Président de la République Française, réclamait la mise en oeuvre d'un réseau d'observation climatique permanent du globe et une coopération nord-sud plus équitable pour défendre

l'environnement. Au début du mois de juillet, les chefs d'Etat ou de gouvernement des sept pays les plus riches du monde adoptaient une déclaration appuyant vigoureusement les travaux du Panel Intergouvernemental sur les Changements de Climat et le lancement du nouveau projet de l'Organisation Météorologique Mondiale sur la détection des changements climatiques.

La communauté des climatologues voit ses efforts portés à l'attention des hommes d'état les plus puissants de la planète. Il lui appartient donc de veiller à ce que ses activités de surveillance et de recherche soient conduites avec toute la rigueur scientifique voulue, et que les résultats en soient exposés de telle manière qu'ils puissent servir de base à l'élaboration de politiques internationales et nationales dans ce domaine.

Les climats du passé et de l'avenir.

Quand on s'intéresse à l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre et à leurs conséquences éventuelles sur le climat de notre Terre, il ne faut pas oublier que, fait essentiel, le climat est un régime dynamique plutôt que statique, soumis à des variations naturelles à toutes les échelles temporelles, de quelques années aux millénaires, et à de possibles altérations d'origine anthropique. Ainsi, l'étude des paléoclimats met en évidence une série de variations quasi-périodiques et de périodes glaciaires à intervalles d'environ 100.000 ans pendant tout le Quaternaire. Ces variations sont liées à des modifications des paramètres orbitaux, induisant les différences dans l'intensité du rayonnement solaire reçu par la Terre. A une échelle temporelle plus petite et plus récente, les relevés de température superficielle moyenne du globe (terres et océans compris) indiquent, tout au long du siècle passé, un réchauffement sensible au cours de cette période, mais aussi des fluctuations continues d'amplitude comparable, qui sont attribuées à la variabilité naturelle du système atmosphère-océan-glace. La prévision d'un futur changement climatique d'origine anthropique ne peut donc être séparée de la compréhension et de la prévision de ces variations naturelles.

A. BERGER

C'est pourquoi une activité scientifique importante a vu le jour il y a plus de 10 ans, placée sous l'égide du Programme Climatique Mondial. De toutes les conférences internationales organisées au cours des 5 dernières années, il ressort clairement que les gaz à effet de serre jouent un rôle fondamental et qu'ils pourraient provoquer, dès les premières décennies du 21ème siècle, un réchauffement global majeur, plus important que tous ceux enregistrés dans l'histoire de l'homme. Quelques «dissidents» se font entendre, mais aucun d'entre eux n'a participé à l'effort soutenu de recherche que la plupart des équipes vivent depuis quelque 20 ans. Alléchés par le succès médiatique que connaît la question ou éternellement opposés à la communauté scientifique, ils se distinguent par des déclarations foudroyantes qui se départissent du consensus et qui sont la plupart du temps sans fondement scientifique. Ils doivent toutefois savoir que leur responsabilité est engagée, car ils risquent de faire retarder la mise en application de mesures qu'auraient décidé de prendre les hommes politiques et les industriels.

Les points sur lesquels il y a accord

Quel est donc le consensus ? Sept points peuvent être relevés sur lesquels tous les scientifiques avertis sont d'accord.

1. Depuis la Révolution Industrielle, la concentration de certains gaz rares, mais radiativement actifs, dans la troposphère est en augmentation ; il s'agit notamment du gaz carbonique, du N₂O, du méthane, des chlorofluorocarbones et de l'ozone troposphérique. Grâce à l'analyse des bulles d'air enchassées dans la glace des calottes polaires, on a pu estimer à quelque 280 ppmv la concentration en CO₂ dans l'air au 18ème siècle. En 1989, les mesures précises montrent qu'elle a dépassé 350 ppmv, ce qui représente une augmentation de 25% en 200 ans environ, dont 10 ont été réalisés au cours des 20 dernières années seulement ! L'augmentation actuelle de plus de 0,5% par an résulte, en fait, du rejet de quelque 5 à 6 milliards de tonnes de carbones provenant de l'utilisation des combustibles fossiles et de 0.5 à 2 milliards de tonnes provenant de la manipulation des sols et du déboisement intensif

de la forêt tropicale. Les estimations in-situ et satellitaires montrent, en effet, que celle-ci disparaît à la vitesse d'environ 20 hectares par minute. Les rejets globaux sont donc de quelque 7 GtC par an, ce qui représente un rejet journalier de 3,5 kg de C par chaque habitant de la Terre.

Le méthane qui résulte de la décomposition de substances organiques produites par les êtres vivants augmente à la vitesse de 1% par an ; le N₂O lié à la production d'engrais azotés pour l'agriculture, à la vitesse de 0.3% par an ; l'ozone troposphérique qui résulte de réactions photochimiques en présence d'autres polluants comme le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote, à la vitesse de 1,5% par an et finalement, les fréons qui font marcher nos frigidaires et nos bombes aérosols, à la vitesse de 5% par an.

Ce sont d'ailleurs ces mêmes fréons qui sont responsables du trou d'ozone dans l'Antarctique et l'application du Protocole de Montréal permettrait dès lors de faire d'une pierre, deux coups.

2. Ces molécules polyatomiques absorbent le rayonnement infrarouge de la Terre et contribuent à l'effet de serre de l'atmosphère en piégeant le rayonnement émis par la surface. Voilà pourquoi, de telles substances ont fini par être appelées «gaz à effet de serre».

Mais l'effet de serre n'est pas une nouveauté, pas plus d'ailleurs que ses bases scientifiques ne sont contestées. L'effet de serre est responsable d'une température sur Vénus bien supérieure à celle qui règne dans nos fourneaux domestiques. Si ces gaz n'existaient pas sur Terre, la température en surface y serait de -18°C, au lieu des 15°C confortables que nous connaissons actuellement. C'est l'effet de serre qui rend notre Terre habitable. Il est donc plus correct de parler d'une perturbation, en réalité d'une intensification de l'effet serre, lorsqu'on se réfère à l'augmentation de la concentration de ces gaz.

3. Le rôle des gaz à effet de serre autres que le CO₂ dans les changements

A. BERGER

climatiques est, en 1989, déjà aussi important que celui du seul CO₂. Si les tendances actuelles se poursuivent, les concentrations combinées du CO₂ et des autres gaz à effet de serre équivaldraient, du point de vue radiatif, à un doublement du CO₂ par rapport à l'époque pré-industrielle dès les années 2030.

4. Les modèles de circulation générale du système climatique concluent que, pour un doublement de la concentration en CO₂, (ou son équivalent en gaz à effet de serre), l'augmentation de la température moyenne globale en surface, à l'équilibre, serait située entre 1,5 et 4,5°C. Bien que l'inertie de l'océan retarde l'apparition de tels effets climatiques, il semble acquis que ceux-ci se produisent malgré tout, durant la première partie du 21^{ème} siècle. Cette fourchette, reflétant l'incertitude de nos connaissances, est interprétée à tort par les médias comme signe d'un désaccord entre scientifiques et utilisée par les décideurs pour justifier leur hésitation à mettre en place une politique volontariste de protection du climat et de l'environnement.

5. En ce qui concerne les précipitations, le problème est plus complexe encore, mais une intensification du cycle hydrologique à l'échelle globale, estimée à quelque 10-15%, peut être prévue avec confiance.

6. Bien que les caractéristiques régionales associées à un tel changement climatique ne puissent pas encore être modélisées, il semble acquis, à une échelle plus globale, que (1) le réchauffement soit maximum dans les hautes latitudes et survienne principalement fin automne et en hiver, (2) que le ruissellement annuel moyen augmente aux hautes latitudes, (3) que la sécheresse estivale devienne plus fréquente sur les continents des latitudes moyennes de l'hémisphère nord, (4) que, dans les régions tropicales, les précipitations convectives et l'évapotranspiration potentielle augmentent. En ce qui concerne l'Europe, les modèles prévoient un réchauffement de 2 à 4° C en été et de 3 à 7°C en hiver. Pour le bassin méditerranéen, la majorité des modèles montrent malheureusement une intensification de la sécheresse dans le futur.

7. Sur la base des changements observés depuis le début de ce siècle, le

réchauffement mondial estimé aurait pour résultat une hausse du niveau moyen des mers de 10 à 30 cm. Une hausse située dans la gamme supérieure de cette estimation aurait des conséquences directes importantes sur les zones côtières, les estuaires et leurs habitats. Bien qu'un effondrement de la calotte ouest Antarctique, conduisant à une hausse du niveau des mers de plusieurs mètres, reste possible, il ne pourrait se faire que progressivement et mettrait plusieurs siècles avant d'atteindre son effet maximal.

Avons-nous les preuves ?

Bien que l'observation de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre constitue une preuve de l'action de l'homme sur le système climatique, a-t-on déjà observé leurs effets ?

En réalité, que nous disent les modèles : 1) ils nous enseignent d'abord qu'au cours des 200 dernières années, la température aurait dû augmenter de 1°C environ à cause de l'augmentation des gaz à effet de serre. Or, on observe que depuis 100 ans, la température a augmenté de 0,5 à 1°C et que la décennie 80 a battu tous les records, 1990 étant l'année la plus chaude depuis qu'on possède des observations météorologiques (une bonne centaine d'années). L'augmentation subséquente du niveau moyen des mers, de 10 à 20 cm, est elle aussi compatible avec les résultats des modèles ; 2) les modèles prévoient une diminution de la température de la stratosphère. Or, les mesures (effectuées depuis une vingtaine d'années) montrent que la stratosphère se refroidit ; 3) selon les modèles, l'amplitude de la variation diurne de la température devrait diminuer. Depuis peu de temps, c'est ce que montrent les observations météorologiques, aux Etats Unis du moins ; 4) les modèles disent encore que l'évaporation devrait aller croissant à cause de l'effet de serre. Les mesures montrent qu'il y a de plus en plus de vapeur d'eau dans l'air au dessus de l'Océan Pacifique équatorial ; 5) quant aux événements extrêmes, des études sur la thermodynamique des ouragans montrent que dans un monde plus chaud, leur fréquence et leur intensité devraient augmenter. De plus, un des modèles les plus

A. BERGER

développés de la communauté scientifique indique que dans un climat plus chaud, on devrait s'attendre à des sécheresses plus intenses au cœur des continents des latitudes tempérées. Des études théoriques concluent aussi qu'un changement dans la moyenne s'accompagne d'un changement dans la fréquence des extrêmes. Quelques statistiques, trop rares malheureusement, montrent une telle augmentation de la fréquence des inondations, tempêtes et sécheresses au cours des 3 dernières décennies. Personne ne prétend toutefois que les sécheresses enregistrées au cours des derniers étés dans les plaines centrales des USA, ni les hivers doux et autres tempêtes récentes en Europe, soient le résultat des perturbations de l'effet de serre liées aux activités humaines. Il est cependant intéressant de remarquer que les résultats des modèles simulant l'impact de l'augmentation des gaz à effet de serre sur le climat ne sont pas en contradiction, voire même sont du même ordre de grandeur que les observations. Ajoutons que ces mêmes modèles ont permis de reproduire avec une bonne fiabilité les climats anciens.

La prudence des scientifiques

Le dilemme de la communauté scientifique réside, en fait, bien plus dans la confiance que dans la compréhension scientifique. La question qui est également posée est : «Quand serons-nous capables de dire avec certitude que l'effet de serre est là ?». En réalité, étant donné la remarque déjà faite à propos de l'effet de serre, ce que les hommes politiques, les décideurs ou les citoyens désirent savoir est "Quand serons-nous certains que la pollution due aux activités humaines peut significativement perturber le climat global de la Terre ?". Mais cette question est elle-même insidieuse, parce qu'imprécise, et la réponse est difficile pour deux raisons. La première concerne le «nous» qui est non-défini et la seconde est liée à la notion de «certain» qui est un jugement de valeur, pas une quantité relevant de la science.

En ce qui concerne le «nous», une enquête auprès de la population a révélé que la réponse à la question était largement différente selon que l'on s'adressait aux spécialistes ou non. La plupart des gens estiment, en effet, qu'une action politique

devrait être prise pour réduire le risque d'une intensification de l'effet de serre à partir du moment où le degré de confiance de la communauté scientifique atteint 50%, alors que cette dernière veut être sûre à 90% et plus. L'hésitation bien connue des scientifiques à parler haut de l'effet de serre et de ses impacts est donc bien liée à cette notion de certitude.

La statistique est un sujet perfide. Disraéli n'a-t-il pas dit : «Il y a des mensonges, des mensonges odieux et des statistiques !». En climatologie, la confiance en une observation ou en une prédiction dépend du pouvoir de détecter le signal au milieu du bruit de la variabilité naturelle. Le problème qui se pose aux climatologues est compliqué, car bien qu'on assiste au cours de ce siècle à une augmentation progressive de la température, celle-ci est loin d'être systématique et régulière. De plus, certaines années parmi les plus chaudes, spécialement au cours de cette décennie, sont associées à des phénomènes naturels tels que le El Nino et l'activité solaire, phénomènes qui sont loin d'être connus parfaitement. L'augmentation de température, l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre et les lois de la physique ont convaincu plus d'un spécialiste que l'intensification de l'effet de serre va se produire. Tout autre chose est de décider quand on est suffisamment sûr pour affirmer que la perturbation est déjà en train de se produire. Savoir quand vous allez décider de ne plus attendre un bus qui est en retard dépend cruciallement de circonstances personnelles ; c'est un jugement de valeur, tout comme l'est le problème de la perturbation de l'effet de serre. Bien que nous ayons suffisamment d'arguments pour croire au réchauffement global, aucun pris séparément ne peut fournir la certitude que les preuves observationnelles ne reflètent peut-être rien d'autre que des fluctuations aléatoires du système climatique. Le problème des climatologistes est qu'ils savent que le système climatique ne peut pas rester indifférent aux perturbations induites par l'activité humaine, mais qu'ils sont aussi convaincus de la difficulté de détecter la réponse du système à ces perturbations au milieu du bruit de fond résiduel. Le problème est, en fait, similaire à celui du réchauffement inévitable d'une pièce si le radiateur fonctionne, même si l'inertie retarde l'apparition de la chaleur et que vous n'avez aucune possibilité de vérifier si l'interrupteur est allumé.

Beaucoup croient que d'ici la fin du siècle nos doutes devraient avoir disparu grâce à l'accroissement du nombre d'observations et de leur diversification, mais aussi grâce à l'augmentation de la précision de nos calculs. Il n'en demeure pas moins que les conservateurs continueront à s'interroger sur le degré de certitude et que certains continueront à prétendre qu'aucune déclaration ne peut être faite sans que nous soyons «absolument certains». La question est alors de savoir si les gens comprennent bien que lorsque nous, scientifiques, seront certains, il sera bien trop tard pour prévenir et contrecarrer les changements que l'humanité est en train de préparer dans sa vie courante et sans en prendre conscience.

Prévenir ou guérir demeure donc bien la question fondamentale, dont le choix appartiendra à la Société tout entière, mais où l'Université est appelée à jouer un rôle fondamental pour que ce choix soit le plus judicieux possible.

On peut donc se demander quand le souci personnel de chaque scientifique pour l'environnement planétaire l'emportera-t-il sur sa formation scientifique et, en particulier, sur la prudence naturelle basée sur son degré de compréhension des phénomènes naturels et des statistiques. Certains dont l'auteur, ont déjà franchi le pas, en soutenant par exemple que la lutte contre le gaspillage énergétique et la réduction des émissions de CO₂ et autres CFCs constituent une sorte d'assurance qui mérite largement l'investissement, étant donné les intérêts à long terme pour le bien être futur.

Un réchauffement inévitable non-uniforme.

Il ne sera probablement jamais possible de parler avec une certitude totale de l'avenir du climat, car il se produira toujours des fluctuations climatiques naturelles, des changements climatiques à long terme et des phénomènes de caractère soudain, tels que l'analyse du passé nous permet de le supposer.

Etant donné l'inertie du système climatique et le temps considérable que

requiert l'implantation d'une politique nouvelle dans les structures socio-économiques actuelles, sans parler du peu d'enthousiasme des décideurs à prendre les mesures de changement préconisées par les scientifiques, il apparaît comme certain, à présent, que la concentration des gaz à effet de serre continuera à augmenter dans les décennies à venir, dès lors, que le **réchauffement** prévu sera **inévitabile**. Il n'en demeure pas moins vrai que les décisions politiques futures, à prendre le plus rapidement possible, pourraient ralentir la vitesse d'accroissement. Ceci donnerait à la Société plus de temps pour s'adapter aux changements et permettrait aux scientifiques d'affiner et de mettre à jour leur scénarios, au fur et à mesure de l'implantation des politiques sociales et économiques.

Très probablement, l'action inconsidérée des activités humaines donnera-t-elle au climat et à l'environnement un aspect qu'on ne leur a jamais connu. Les informations du passé montrent, en effet, qu'un doublement du CO₂ atmosphérique pourrait avoir des impacts profonds sur l'écosystème global, l'agriculture, les ressources en eau et la sécurité alimentaire. Bien que ces effets puissent aggraver les tensions internationales et ébranler tout le système économique, on doit admettre que les changements climatiques ne seront pas néfastes pour tous. Incontestablement, le réchauffement redistribuera les ressources climatiques, rendant la situation meilleure à certains endroits, pire à d'autres. De toute façon, la connaissance partielle et incertaine des phénomènes ne nous aidera guère à nous adapter à la nouvelle situation, ni à limiter les dégâts lors de la transition. C'est, en effet, lors du passage progressif vers un nouvel équilibre climatique que les difficultés risquent d'être les plus grandes. Ceci est particulièrement vrai dans un monde de 5 milliards d'habitants, étroitement liés économiquement et politiquement. Vu le degré de sophistication des technologies, dont le développement dépend de plus en plus impérativement, et l'interdépendance de toutes les structures, la Société est d'autant plus sensible, voire fragilisée face aux contre-réactions qui caractérisent tout système hautement non linéaire, tel celui qui gouverne son comportement global.

Que faire ?

Le risque de déséquilibre, transitoire au mieux, que le développement industriel et économique de la seconde moitié du 20^{ème} siècle fait courir aux générations futures, a atteint, de l'avis des spécialistes, un seuil dont la gravité exige que tous les phénomènes décrits ici puissent être étudiés avec beaucoup plus de moyens et d'attention.

L'observation et la recherche

Il faut pour cela encourager les chercheurs à étudier la Terre et intensifier leur formation grâce à un enseignement universitaire de qualité. Il faut aussi que les moyens continuent à leur être donnés, à l'échelle nationale (pour la recherche et la diffusion de l'information) et internationale (pour la collaboration), pour déceler le plus rapidement possible le signal du réchauffement au sein de la variabilité naturelle du climat et limiter le degré de nos incertitudes. Il faut donc, d'une part, multiplier et diversifier les observations et les informations sur le climat présent et passé. D'autre part, il faut mettre au moins des modèles performants en vue d'estimer l'amplitude, la chronologie et la distribution géographique régionale des impacts attendus. Tout doit être fait pour limiter la grandeur de ces impacts ; il est, pour cela, impératif de pouvoir les reconnaître à temps, afin de mieux s'en prévenir.

Sauver nos ressources naturelles non renouvelables

Parallèlement à la recherche et à la formation des enseignants, des actions concrètes peuvent être engagées de manière à diminuer les risques que ces activités humaines font courir à l'environnement et réduire leurs effets. Avant qu'une stratégie internationale soit mise sur pied (ce qui prendra sûrement du temps si on regarde ce qui s'est passé avec la pollution transfrontière et l'ozone), les nations devraient pouvoir prendre une série de mesures qui, de toute façon, seraient bénéfiques à

l'environnement, que l'effet de serre s'avère être catastrophique ou non, sans pour autant qu'elles mettent en péril leur compétitivité économique ni leur bien-être. Une lutte urgente contre le gaspillage énergétique, le développement d'une politique volontaire d'utilisation rationnelle de l'énergie, la mise en oeuvre immédiate d'une politique économique qui favorise l'usage domestique de produits propres et la reconnaissance d'une valeur juridique au principe du pollueur-payeur inscrit dans l'acte unique européen, une réduction considérable de la déforestation, et une diversification des sources énergétiques aideraient à sauver nos ressources naturelles non renouvelables dont on sait qu'elles sont limitées et appelées à disparaître avant la fin du 21ème siècle si nous continuons à les galvauder comme à présent.

limiter les émissions de CO₂

Nous serons aussi amenés à définir rapidement des stratégies de développement qui devraient permettre de stabiliser la concentration en CO₂-équivalent bien en dessous d'un seuil critique. Comment pourrions-nous réaliser un tel objectif alors que les scénarios montrent que les besoins annuels en énergie primaire seront très vraisemblablement d'au moins 20 TWan, d'ici 30 à 40 ans. En fait, ce chiffre correspond à une croissance de 1,7% par an, similaire à celle du post-choc pétrolier des années 1973. Il serait toutefois prudent d'également prévoir un scénario de quelque 30 TWan correspondant à une croissance énergétique de 4%, typique des «golden sixties», pour les pays en voie de développement et de 2% pour les pays riches. Face à de telles projections en besoin énergétique d'ici une cinquantaine d'années et à la nécessité de réduire les émissions de CO₂ de 20% par rapport à 1988 d'ici l'an 2005, voire de plus de 50% si on veut stabiliser la concentration en CO₂ et limiter le réchauffement global à 0,1°C par décennie, bon nombre d'organismes s'accordent pour reconnaître qu'en plus des économies d'énergie et de l'utilisation rationnelle de l'énergie, l'exploitation énergétique de la biomasse, les énergies douces (hydroélectrique, solaire, éolienne et géothermique) et l'énergie nucléaire sont à la base d'un espoir de solution. Si on admet qu'une politique résolue

d'utilisation rationnelle de l'énergie nous permettra d'économiser une dizaine de TWan, une quinzaine de TWan pourrait être raisonnablement fournie à raison de 5 TWan par les combustibles fossiles, 3 par les énergies douces renouvelables, 3 par la biomasse et 4 par le nucléaire. Le non-respect de ces chiffres, ou toute croissance supérieure à ces 25 TWan, requiert donc un développement énergétique nouveau et nécessitent le renforcement de la recherche dans les sources d'énergie propres à fort potentiel.

Une politique à environnement intégré

La Ligue des Droits de l'Homme a permis d'améliorer les conditions de vie de la Société au début du 20ème siècle. Mais il apparaît, à présent, qu'en même temps la Révolution Industrielle, avec sa pollution globale de l'environnement, progressivement créé une situation qui pourrait sérieusement entraver le développement du siècle prochain. Nous avons, en effet, oublié de prévoir l'impact à long terme d'un développement anarchique visant d'abord le profit immédiat. La prise en compte du coût réel du développement, y compris le maintien ou la restauration d'un environnement sain, nous aurait mis à l'abri de ces bombes à retardement que sont les pluies acides, le trou d'ozone, le réchauffement dû aux gaz à effet de serre, la pollution des eaux et des sols, la déforestation, les accidents et les déchets industriels, tant chimiques que nucléaires, et autres ordures ménagères. En particulier, les modifications inévitables et quasi-irréversibles du climat, liées à l'utilisation inefficace des combustibles fossiles par une population mondiale en explosion sans précédent dans l'Histoire, requièrent un effort particulier de contre-mesures. De manière à éviter les erreurs du passé, il faudra dorénavant s'assurer que la protection de l'environnement fasse partie intégrante de toutes les politiques, comme reconnu dans une Déclaration du sommet Européen de Rhodes, en décembre 1988. Pour cela, il est urgent que chaque pays mette sur pied une commission interministérielle de l'environnement. Celles-ci, libres de toute contrainte politique nationale et en étroite concertation avec les autres pays, devraient veiller non seulement à ce que les directives internationales soient effectivement prises en compte et implantées rapi-

dement dans les structures sociales et économiques, mais surtout à ce que les décisions futures liées au développement soient prises en tenant compte de leur impact éventuel sur l'environnement.

Le 21ème siècle appartiendra à ceux qui ont, dès à présent, le courage de reconnaître la vitesse effrénée de notre développement par rapport à l'évolution naturelle et l'absolue nécessité de transmettre aux générations futures notre héritage naturel par l'utilisation d'une médecine préventive plutôt que curative. Cette politique à **environnement intégré** ne pourra être stabilisée à long terme que par un changement radical des mentalités, c'est-à-dire une attitude où l'environnement ferait partie de décisions au même titre que l'économie, la justice et le droit des hommes.

L'industrie verte, un souffle économique nouveau

Etant donné les problèmes d'environnement d'ampleur croissante auxquels le monde d'aujourd'hui doit faire face, le respect des règles strictes de protection de l'environnement apparaît à présent comme une condition impérative pour permettre d'assurer une croissance soutenue par une meilleure qualité de la vie à tous les peuples de la Terre. Le Siècle de l'effet de serre devra être celui de l'industrie verte. Une telle politique volontariste relancerait notre économie en lui donnant un sens et un souffle nouveau, en lui permettant de se renouveler dans la perspective d'un développement harmonieux de la Société en symbiose avec l'environnement pour le bénéfice de tous.

Un protocole international pour la protection du climat

Résoudre le problème demande une organisation extraordinairement complexe qui ne peut s'improviser. De plus, plus tard seront prises les mesures en vue de prévenir les impacts ou du moins de les atténuer, plus chers les remèdes coûteront-

A. BERGER

ils à la Société. Par conséquent, des mécanismes de gestion doivent être installés pour encourager, examiner et approuver les nouveaux projets. A l'instar du Protocole de Montréal sur la préservation de la couche d'ozone, un Protocole International pour la Protection de notre Atmosphère Globale, et en particulier du Climat de la Terre doit être négocié et son implantation dans les structures politiques et sociales préparée.

L'explosion démographique du Tiers-Monde

Etant donné l'augmentation continue des émissions de gaz à effet de serre et de la déforestation, la responsabilité des pays en voie de développement sera de plus en plus engagée. Des programmes devront donc être développés pour les rendre conscients de l'importance du problème et les amener à prendre eux-mêmes les mesures qui s'imposent (par exemple en matière de démographie). De plus, une politique internationale devrait rapidement leur permettre de sauver leurs ressources forestières et leur procurer des technologies propres en vue de produire l'énergie requise par un développement rapide et une expansion économique à la mesure de leurs besoins. Tel serait d'ailleurs un des buts du Fond International pour l'Environnement réclamé par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

Une charte des devoirs des hommes

Comme le temps nous manque, la solution ne pourra pas venir des seules organisations gouvernementales ou internationales. Chacun de nous, en particulier dans les pays industrialisés, doit reconnaître la part de responsabilité qu'il prend, jour après jour, dans la pollution globale. Il est dès lors temps qu'une Charte des Devoirs des Hommes soit créée pour susciter une prise de conscience collective, afin que nous nous sentions plus solidaires dans un développement en meilleure harmonie avec l'environnement et plus concernés par la responsabilité que nous avons de léguer notre héritage naturel aux générations à venir.

Un cours d'éthique de l'environnement

Cette prise de conscience ne peut se réaliser que par un enseignement approprié dès le bas âge et poursuivi jusqu'à l'Université. Il s'agirait d'un enseignement conduisant à une éthique de l'environnement, au même titre que les cours qui enseignent la morale, le droit et la justice. C'est l'Université qui devrait prendre en charge sa création, ce qui ne pourra se faire que grâce à l'acquisition d'une information solide basée sur une recherche de qualité.

Le rôle central de l'Université

Quelque soit le bout par lequel on approche le problème de l'impact des activités humaines sur le climat, l'Université se retrouve inmanquablement interpellée ; c'est à elle et à ses membres de saisir l'occasion de se retrouver au centre de ce débat universel. Il est à espérer que l'Université décide d'accepter ce rôle en intensifiant sa recherche et son enseignement sur le climat dans un cadre pluridisciplinaire et, ainsi, d'investir dans ce qui représente la plus grande expérience géophysique involontaire jamais déclenchée par l'Homme.

André BERGER
Université Catholique de Louvain
Institut d'Astronomie et de Géophysique G. Lemaître