

Le débat sur l'effet de serre : pourquoi cette chaleur et ce climat d'incertitude ?

Jacques Grinevald
Institut universitaire d'études du développement
et Faculté des sciences économiques et sociales de
l'Université de Genève
24, rue Rothschild, CH-1211 Genève 21

[version préliminaire inachevée]

"The most important, difficult, and neglected questions of energy strategy are not mainly technical or economic but rather social and ethical."

Amory B. LOVINS (1977, p. 58)

"Global warming is the greatest crisis ever faced collectively by Humankind : unlike other crises, it is global in nature, threatens the very survival of civilization, and promises ... only losers over the entire international socio-economic fabric."

Conference Statement, *International Conference on Global Warming and Climate Change : Perspectives from Developing Countries*, Tata Energy Research Institute, New Delhi, India, 21-23 February 1989.

"Au moment même où physiquement nous agissons pour la première fois sur la Terre globale, et qu'elle réagit sans doute sur l'humanité globale, tragiquement, nous la négligeons."

Michel SERRES (1990, p.54)

L'effet de serre! Il ne tombe pas du ciel. Il n'y aurait pas de controverses, de polémiques, de négociations internationales, s'il n'y avait pas, en l'occurrence, un réel problème. Il y a bien un problème, aucun géophysicien ne doute de l'effet de serre qui maintient l'habitabilité de la planète Terre. Les choses se compliquent dans l'étude de ses variations dans l'évolution passée, ou future de la Terre. Dans le passé, il est évident qu'aucune influence humaine n'existe avant l'apparition de l'Homme au Quaternaire, mais d'autres espèces vivantes, végétales ou microbiennes, ont pu jouer un rôle. Avec Homo sapiens faber (comme disait Vernadsky après Bergson), l'impact humain sur la Terre semble soudain prendre des proportions géologiques, accélérant et déséquilibrant les cycles biogéochimiques avec la révolution thermo-industrielle désormais mondiale. Le problème de l'effet de serre est tout d'abord une théorie géophysique (la découverte d'une merveille de la Nature), dont la construction sociale, significativement, possède, grosso modo, la même chronologie historique et le même gradient de croissance que la puissance énergétique de la civilisation thermo-industrielle actuellement dominante.

C'est d'emblée un problème d'écologie politique, même si cette catégorie hybride est d'apparition récente, et fait encore l'objet de beaucoup de confusion et de discussion. C'est bien un problème politico-scientifique, philosophique, social et éthique sans précédent, sans analogie connue. On commence à peine à en comprendre la nature transdisciplinaire, à l'interface des problèmes de développement, des stratégies énergétiques, des préoccupations environnementales et des relations internationales. De nombreuses déclarations, plus ou moins solennelles, ont présenté notre renforcement de l'effet de serre, notre réchauffement global, comme le plus grave problème de «notre crise écologique» (White, 1967), avec celui (lui aussi controversé en son temps) de «l'Hiver Nucléaire» qui plongerait la Biosphère dans «le froid et les ténèbres», une catastrophe climatique et écologique digne de celle qui mit fin au règne des dinosaures, il y a 65 millions d'années, selon la théorie scientifique la plus furieusement discutée au début des années 1980 (Glen, ed., 1994). Tout se tient dans la crise écologique du développement moderne. La théorie des extinctions massives, la disparition des espèces, la crise de la biodiversité, tout cela se mêle au débat sur l'effet de serre et le bouleversement des climats. L'écologie devient politique, exacerbée par le conflit Nord-Sud.

Le problème de la dérive anthropogénique de l'effet de serre, longtemps réduit au problème du dioxyde de carbone et du climat, n'est pas par hasard contemporain de la révolution industrielle : il en est l'aspect écologique global le plus évident, du point de vue de la géochimie et surtout de la biogéochimie, à laquelle il faut rattacher le «métabolisme industriel» (Erkman, 1998). Depuis des années on détruit les forêts, mais aujourd'hui, sous les tropiques, elles brûlent et disparaissent à une allure vertigineuse. Le carbone rejeté dans l'atmosphère prend des proportions sans équivalent à l'échelle de l'existence de l'espèce humaine. Et les quantités de combustibles fossiles utilisés et donc les émissions de CO₂ augmentent à une vitesse qui s'accélère d'une manière qui inquiéta Keeling dès la fin des années 60 (Keeling, 1970). Que nous réserve l'évolution de la Biosphère avec un si brutal déséquilibre de son économie naturelle? Fâcheusement, le texte juridique (et non scientifique!) de la Convention des Nations Unies sur les changements climatiques utilise le mot biosphère pour désigner la végétation, sous-ensemble du système climatique, alors que c'est le climat, ou l'état de l'atmosphère, qui est une partie du système global de la Biosphère. J'en ai discuté avec Bert Bolin! Mais que faire?).

Au cours des recherches scientifiques récentes, le problème est devenu extrêmement complexe, tant au niveau théorique, de plus en plus sophistiqué, qu'au niveau des observations, des expérimentations et des modélisations. Les médias, en sens inverse, simplifient et trahissent cette épistémologie de la complexité. En science, les controverses sont partout intenses et fécondes. C'est ainsi que le savoir scientifique progresse, ou se transforme parfois radicalement! Les problèmes de la pollution de l'air, comme ceux liés au cycle du soufre, également issus de l'utilisation des combustibles fossiles, firent longtemps craindre un refroidissement du climat, voire une nouvelle ère glaciaire, masquant (en plus de l'inertie thermique des océans) la dérive de l'effet de serre, refoulant plus d'une fois la théorie climatique du CO₂. Il y avait aussi la tradition des controverses, depuis Agassiz, de l'âge glaciaire, de ses causes, puis des ères glaciaires périodiques et de la discussion des thèses astronomiques (Berger, 1992). Vers 1860, Tyndall avait introduit dans le débat des changements climatiques l'effet de serre des variations du cycle de l'eau, et, en passant, du gaz carbonique. Mais Tyndall, en son temps, fut surtout célèbre pour sa défense d'autres idées, qui ne plaisaient pas aux esprits religieux de l'Angleterre victorienne. Il était aussi célèbre comme alpiniste chevronné, suivant

ainsi la tradition de de Saussure et des pionniers de la physique des gaz et de la théorie de la chaleur. Au commencement des études spectroscopiques, Tyndall avait surtout développé la mesure, en laboratoire, des propriétés radiatives des gaz et des vapeurs. Sa suggestion à propos du CO₂ et du climat fut négligée jusqu'aux travaux d'Högbom et Arrhénius, en Suède, Chamberlin aux Etats-Unis, dans les années 1890. Svante Arrhénius, l'un des fondateurs de la chimie physique, fut le premier savant à clairement faire le lien entre développement industriel, consommation des énergies fossiles (du charbon et du pétrole), augmentation de la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère, dérive de l'effet de serre et changement climatique. Mais il partageait l'optimisme des savants de son temps : il craignait un âge glaciaire, nullement le réchauffement de la Terre, véritable précurseur de la position d'un Budyko (à l'époque de l'URSS) ou d'un Idso (Idso, 1995).

Ce sont les pionniers de la géochimie, dès le début du XXe siècle, tous des minéralogistes intéressés aux ressources minières stratégiques, et notamment aux combustibles fossiles, avec l'énigme de les controverses sur l'origine de la formation des pétroles, qui soulevèrent les premiers la redoutable question du déséquilibre du cycle du carbone et de l'évolution du climat. Les naturalistes avaient soulevé la question climatique en relation avec la déforestation, depuis bien plus longtemps. On peut relire avec profit *The Data of Geochemistry* (1908, 5e éd. 1924) de F.W. Clarke, *La Géochimie* de Vernadsky (1924), *Elements of Physical Biology* de Lotka (voir Grinevald 1990, 1993). Quelle modernité! Mais ces pionniers furent dépassés par l'accélération du développement économique et de la croissance démographique du XXe siècle, comme tout le monde! Il est difficile de prévoir, surtout l'avenir!

On retrouve les origines du débat sur les combustibles fossiles, le dioxyde de carbone et le climat dans les principaux manuels de géochimie des années 50 (voir notre introduction à l'édition critique de Vernadsky, 1997, p.20-32), avant donc que cette discipline ne devienne une big science de l'âge de la guerre froide, et une science pratiquement illisible en dehors de cette discipline (illustrée en France par C. Allègre). Heureusement, cette époque ésotérique semble terminée et un gros effort de présentation générale du paradigme biogéochimique de la nouvelle «science du système Terre» est en cours (Nierenberg, ed. 1992; Graedel et Crutzen 1993; Skinner et Porter, 1995; Berner et Berner 1996; Smil 1997; Schlesinger 1997). Cette pédagogie est indispensable pour donner un cadre réaliste aux débats sur l'énergie et le climat. Parmi les ouvrages de référence récents (aucun n'est encore traduit en français ou ne possède d'équivalent), les plus remarquables sont : *Earth under Siege : From Air Pollution to Global Change* (Turco 1997); *Our Changing Planet : An Introduction to Earth* (Mackenzie 1998), et *Earth System Science : From Biogeochemical Cycles to Global Change* (Jacobson et al., eds. 2000). Ce dernier manuel, qui est la seconde édition de *Global Biogeochemical Cycles*, publié en 1992, confirme l'importance que j'accordais personnellement, il y a plus de dix ans déjà, à l'admirable filiation intellectuelle qui va de Vernadsky à Lovelock en passant par Suess et Huchinson (Grinevald, 1987, et in Bunyard, ed. 1996).

Dans l'entre-deux-guerres, les météorologistes et les climatologues négligèrent le problème du CO₂ et des changements climatiques du futur. On se penchait surtout sur le passé! Un chercheur anglais peu connu, Guy Stewart Callendar, dont le père était un éminent thermodynamicien, prêcha dans le désert. La théorie climatique du gaz carbonique associée au développement industriel et à la déforestation ne fut reprise, timidement, que dans les années 50, notamment par Gilbert Plass, dans le sillage de l'essor de la géochimie isotopique, et aussi - comme ce fut le cas d'Hans Oeschger (1927-1998) en Suisse - pour argumenter l'option nucléaire comme

alternative à l'effet de serre du dioxyde de carbone. Bien des controverses sont nées de cette politique atomique d'une bonne partie du monde scientifique et des ingénieurs de la grande aventure de la conquête de l'énergie.

La recherche océanographique américaine de l'après-guerre joua un rôle majeur dans l'étude des cycles géochimiques. A l'occasion de l'Année géophysique internationale de 1957-58, Roger Revelle (1909-1991), qui venait de publier avec Hans Suess (1909-1993) une étude dérangementante sur les échanges du CO₂ entre l'atmosphère et l'océan, mettant fin au mythe du puit océanique illimité, envoya le jeune géochimiste Charles Davi Keeling à l'Observatoire du Mauna Loa, à Hawaii, pour y développer la mesure systématique, en continu, de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère (Clark, ed. 1982). Keeling consacra sa vie à cette mission, qui pourrait bien lui valoir prochainement le prix Nobel de chimie et (à l'instar d'un Linus Pauling) le prix Nobel de la paix. Qui connaît la vie et l'oeuvre de Keeling dans le grand public, et même à l'université?

S'il existe un élément incontesté, et incontestable, dans le dossier de la dérive anthropogénique de l'effet de serre, c'est bien la fameuse «courbe de Keeling». Elle est très impressionnante, avec ses oscillations saisonnières, qui expriment admirablement l'activité géophysique de la végétation dans la Biosphère, et avec son allure exponentielle, voire sur-exponentielle. Elle a d'ailleurs été reprise, à juste titre, dans le célèbre «rapport Meadows» sur *Les limites à la croissance* (cette courbe n'a malheureusement pas été reproduite dans la traduction française!). Cette courbe devient surtout impressionnante lorsqu'on l'associe aux mesures des archives glaciaires de la pléoclimatologie, comme on le fait depuis les années 80. C'est alors qu'on réalise ce que signifie, à l'échelle géologique de l'histoire du climat et de toute la Biosphère, l'allure proprement explosive, comme une sorte de volcanisme démesuré, de cette soudaine augmentation de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère, incontestablement provoquée par la révolution thermo-industrielle depuis le milieu du XIX^e siècle. Les géochimistes expliquent que cette perturbation va continuer durant plusieurs siècles, même si nos émissions de gaz carbonique sont réduites ou supprimées dès à maintenant. L'énergie n'est pas seule en cause. Car il en va de même d'autres gaz à effet de serre, comme le méthane, nettement plus directement lié à l'explosion démographique et au développement économique des régions non-industrialisées. La circulation des éléments chimiques dans la nature possède des vitesses qui ne sont pas celles des rythmes de notre «circuit économique»! Les générations à venir risquent de payer cher nos excès de vitesse dans les cycles de la Biosphère!

Dans l'ignorance des connaissances récentes en sciences de la Terre, et surtout dans le domaine des cycles biogéochimiques de la Biosphère, le développement de l'industrialisation, désormais mondiale avec les stratégies internationales de développement, a poursuivi sa folle course à la croissance, doublée de l'explosion démographique mondiale, sans se soucier de l'environnement atmosphérique, de l'avenir du climat, et des conséquences écologiques globales de cette immense gaspillage des ressources minérales et énergétiques des entrailles de la Mère-Terre. Les émissions industrielles de carbone augmentèrent parallèlement à la croissance de la consommation d'énergie, dépassant à partir des années 50 celles liées à la déforestation, comme le mit en évidence Hans Suess ("Fuel residuals and climate", *Bulletin of the Atomic Scientists*, en 1961). Les mesures comme celles de Keeling se multiplièrent aux différents coins de la planète, avec la coordination de l'OMM, confirmant de plus en plus l'augmentation accélérée de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère. Il était normale de modéliser les scénarios du futur (Manabe, 1997). Ils sont tous préoccupants et inquiétants. L'affaire de la dérive anthropogénique de

l'effet de serre dépasse le domaine de l'économie de l'énergie, il touche toute la philosophie du développement économique fondé sur le modèle militaro-industriel de l'Occident.

Les géophysiciens travaillent sur des modèles numériques pour chercher à évaluer quantitativement les conséquences thermiques et climatiques de l'augmentation des multiples gaz à effet de serre dans l'atmosphère, compte tenu de leurs différentes propriétés radiatives et des cycles géochimiques. Des processus physico-chimiques de rétroactions, positives et négatives, furent introduites, mais l'intégration des processus biologiques nettement plus complexes laissait toujours à désirer (Woodwell et Mackenzie, eds. 1995). C'est là une source importante d'incertitude, comme le rôle climatique ambivalent des nuages. On peut toujours multiplier les modèles et les scénarios. On ne prévoit toujours ce qui va se passer! Mais cela ne signifie nullement qu'il ne va rien se passer! Il en va de même dans le domaine de la prospective énergétique, qui s'est souvent trompé dans le passé. L'histoire ne se planifie pas! Elle est toujours grosse de surprises.

Le dossier devint de plus en plus brûlant dans les années 1980, à l'époque de Gorbatchev et des importantes transformations politiques à l'Est et dans les relations Est-Ouest. Un nouveau climat international permit aux problèmes de l'environnement de prendre leur place dans l'agenda politique des relations internationales. Le dossier de l'effet de serre entra définitivement dans la valise diplomatique. Le problème de la menace des changements climatiques à l'échelle de la Biosphère fit l'objet de nombreuses conférences internationales, plus ou moins officielles, réunions scientifiques et rapports d'experts, dont une expertise scientifique intergouvernemental, à la demande expresse de l'Assemblée Générale des Nations Unies, en 1988, a été établie, sous le double patronage de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), plus connu sous son sigle anglais IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). L'entrée en scène de l'IPCC, tout d'abord très discrète, prit toute son importance lorsque commença la phase proprement diplomatique, en 1991, des négociations en vue d'une loi internationale pour protéger l'environnement atmosphérique et climatique de la Terre, pour la présente génération mais aussi pour les générations futures. On parla de plus en plus d'un principe de précaution, à mettre en oeuvre précisément dans les situations de risque potentiel et d'incertitude scientifique.

Avec l'IPCC, on avait enfin un état de l'art qui pouvait faire autorité. Sa légitimité et son autorité furent cependant vivement contestée par les mêmes critiques, en gros, qui déclenchèrent le tollé que l'on sait lors la parution, en 1972, du rapport Meadows sur *Les limites à la croissance*, et qui avait en son temps déjà utilisé la «courbe de Keeling» comme problème écologique mondial et exemple d'une courbe exponentielle inquiétante pour qui regarde l'avenir de la Biosphère, de l'écosystème planétaire!

Le premier Rapport d'évaluation de l'IPCC (qui comprend les rapports de ses trois Groupes de travail : I. Science - Aspects scientifiques du changement climatique; II. Impacts - Incidences potentielles du changement climatique; III. Policy - Stratégies d'adaptation au changement climatique), a été présenté à la Deuxième Conférence Mondiale du Climat, organisée par les Nations Unies à Genève du 29 octobre au 7 novembre 1990 (Jäger et Ferguson, eds. 1991). Ce rapport de l'IPCC (dont on peut se demander qui l'a vraiment lu?) soulignait que l'absence de certitude scientifique absolue ne pouvait servir de prétexte pour ne rien

faire ou pour différer les mesures à prendre visant à prévenir, autant que possible, un changement climatique de l'ampleur et de la rapidité que la recherche scientifique le prévoit pour le XXI^e siècle, comme l'affirmait déjà, depuis quelques années, un certain nombre de rapports d'experts, tant aux États-Unis que dans le cadre intergouvernemental de l'OMM. Le deuxième rapport de l'IPCC a été achevé en 1995. Un troisième est en préparation. Il faut souligner ici la vocation scientifique et technique de l'IPCC, mais aussi son caractère strictement intergouvernemental. Comme l'ont maintes fois souligné N. Sundararaman et B. Bolin, ce sont les gouvernements qui approuvent et ratifient les rapports d'évaluation de l'IPCC. Il s'agit donc bien d'une expertise scientifique officielle destinée à éclairer et à orienter le travail des décideurs politiques et des administrations publiques des membres de l'Organisation des Nations Unies. Ce contexte intergouvernemental explique une bonne part des controverses suscitées, voire payées, par les lobbies du monde des affaires, notamment de la production et du négoce de produits pétroliers, des charbonnages ou de la grande industrie des transports, ou encore certains pays défendant un point de vue lié à certains intérêts économiques ou politiques à court terme.

L'idée même d'une possible dérive anthropogénique de l'effet de serre, et donc de la température moyenne de la Terre, avec ses conséquences climatiques, n'a rien d'inédit dans les annales de la science occidentale, puisque dès les origines de la théorie géophysique de l'effet de serre, qui remontent à la même époque que la naissance de théorie physique de l'énergie qu'on appelle la Thermodynamique (Grinevald 1990, 1992, 1997), l'influence de l'activité humaine a été incluse dans la liste des facteurs qui peuvent modifier la température et les climats de la Terre. Cependant, malgré l'ancienneté des discussions sur l'effet de serre et les changements climatiques, voire, un peu plus récemment, sur l'économie de l'énergie et le climat, il faut bien reconnaître que la communauté scientifique de la civilisation militaro-industrielle moderne ne s'est pas beaucoup soucié de l'avenir de l'environnement global, et notamment de l'atmosphère et de la diversité biologique, génétique et écologique (dont l'intégration biosphérique se nomme la biodiversité), jusqu'à une date assez récente. On se préoccupa de la pollution locale de l'air, mais pas de l'évolution chimique de l'atmosphère globale avant la première Conférence mondiale sur le climat, organisée par l'OMM, à Genève, en 1979.

Pire, comme je l'ai déjà souvent écrit ou dit publiquement, au XX^e siècle, les scientifiques ont, parfois secrètement, davantage contribué à l'augmentation des risques encourus par l'humanité, que réellement contribué à la protection de la Nature et de ses ressources, qu'on laissa aux bons soins des naturalistes dont on se moquaient volontiers dans les milieux, plus proches du pouvoir, et notamment des militaires et des industriels, des «sciences dures», de plus en plus mathématisées, modélisées et informatisées. Cette situation institutionnelle et intellectuelle de la Science moderne occidentale, surtout depuis la Deuxième Guerre mondiale et la course aux armements nucléaires, explique sans doute aussi une bonne part des controverses et des polémiques qui entourent le nouveau message de la science du système Terre et de sa Biosphère, et notamment l'alerte concernant l'évolution de l'atmosphère et du climat global. A priori, le discours scientifique sur les stratégies, notamment énergétiques et environnementales, à adopter pour prévenir cette menace climatique, l'atténuer ou s'y adapter.

A la veille de la Conférence de Rio, la publication de l'Appel de Heidelberg, s'inquiétant «d'assister, à l'aube du XXI^e siècle, à l'émergence d'une idéologie irrationnelle qui s'oppose au progrès scientifique et industriel et nuit au développement économique et social» (*Le Monde*, 3 juin 1992), en disait long sur

l'état moral et spirituel de la communauté scientifique la plus prestigieuse, celle qui se distingue par le nombre de ses prix Nobel.

La nouvelle problématique écologique et évolutionniste de la Biosphère, qui fait plus ou bien partie du mainstream de la science du système Terre, et qui donne tout son sens planétologique au concept de dérive anthropogénique de l'effet de serre, peut raisonnablement apparaître comme une contradiction scientifique flagrante avec l'idéologie économique moderne du «progrès scientifique et industriel» telle qu'elle s'exprime dans un document aussi symptomatique que l'Appel de Heidelberg. L'émergence de la science et de la conscience de la Biosphère, ou de Gaïa comme dit James Lovelock, encore bien embryonnaire, marquée par nos erreurs, nos incertitudes et notre docte ignorance, représente, je crois, l'une des plus surprenantes et bouleversantes retombées de notre exploration de l'espace, le «grand tour» du système solaire, qui est aussi, ne l'oublions pas, à la fois l'âge nucléaire et l'âge d'or du pétrole.

Dans l'étude des rapports entre l'histoire naturelle du climat et l'histoire sociale des humains, tout semblait avant affaire de fluctuations irrégulières, plus ou moins dramatiques, localement. De nos jours, toutes les grandeurs de l'histoire naturelle et de l'histoire sociale et économique ont changé d'échelle. L'énergie, les ressources naturelles, la technologie et la démographie du XXe siècle, de l'ère des masses, mais aussi de «la dérive des continents» et de la tectonique des plaques, nous ont appris la vitesse, le gigantisme, la puissance et l'accélération. L'humanité compte désormais réellement dans le système Terre. Les géochimistes ne peuvent plus ignorer l'économie mondiale. Les économistes ne devraient plus ignorer la géochimie, la thermodynamique, la biogéochimie, et encore moins l'écologie globale! Il ne s'agit plus seulement des nations civilisées, de l'hémisphère Nord, le Sud compte aussi. On ne mesure plus l'âge de la Terre en oubliant l'immense durée biogéologique du Précambrien, comme on le faisait encore avant les années 1960. Notre Terre n'est nullement vieille, sa vitalité est incroyable, mais son ancienneté a tout de même déjà 4,5 milliards d'années! Cela devrait nous inciter à un peu plus de modestie, voire d'humilité, au sens étymologique du mot.

On sait désormais que l'évolution biologique à la surface de cette Terre est du même ordre de grandeur que toute l'histoire géologique de cette planète singulière du système solaire. L'effet de serre y a joué un rôle majeur, même s'il est toujours discuté, car on se dispute encore sur la participation des processus biologiques dans ce domaine (Schwartzman, 1999). On comprend cependant de mieux en mieux que la Vie et la Terre ne sont pas des entités incommensurables, mais plus vraisemblablement les deux faces d'un même médaille, une sorte de système bioinerte auto-organisé en constante coévolution, au point que certains scientifiques, plus anti-conformistes que d'autres, inventent de nouveaux concepts, à nouveau holistiques comme «le système de la Terre» de James Hutton, que ravive et rénove le concept géophysique de Gaïa de James Lovelock.

Depuis une vingtaine ou une trentaine d'années à peine, la pensée scientifique d'avant-garde est entrée dans l'une de ces périodes de crise qu'on appelle une révolution ou un changement de paradigme, non dans le domaine d'une discipline ou d'une science comme la physique ou la biologie, mais dans la «philosophie naturelle» tout entière. La thermodynamique de la révolution industrielle a été en grande partie aux origines de cette métamorphose de la science, de notre vision énergétique de la Terre, du système solaire et de l'Univers en évolution et en expansion. Notre savoir scientifique a été bouleversé par le Deuxième principe de la thermodynamique, la Loi de l'Entropie. Tout le monde doit en tenir compte, car les lois de la thermodynamique sont incontournables. Curieusement, nos doctrines

politiques et nos théories économiques de la croissance et du développement ignore cette partie fondamentale de notre physique, et à vrai de la science la plus industrielle de notre encyclopédie moderne. Le grand Georgescu-Roegen (1906-1994), le dissident par excellence de la science économique occidentale dominante, si bien nommée néoclassique, a été excommunié, en son temps, pour avoir professé cette hérésie et en avoir tiré les leçons pour l'économie de l'énergie et des ressources naturelles (Georgescu-Roegen, 1995).

N'est-il pas temps de penser l'évolution et le fonctionnement de notre économie, non à part, dans le splendide isolement de l'abstraction arithmomorphe de la monnaie et des prix, mais en interaction avec la réalité naturelle, ce que nous nommons, d'une manière encore affreusement anthropocentrique, l'environnement, voire l'environnement global. Il n'y a pas l'Homme et la Biosphère. Comme si l'Homme existait en dehors ou au-dessus de la Biosphère! L'Homme fait partie de la Biosphère, même s'il est, selon la belle formule d'Elisée Reclus, «la nature prenant conscience d'elle-même». Le vivant, c'est aussi la conscience et l'invention humaines, nos organes exosomatiques, c'est-à-dire nos instruments techniques, au même titre, d'un point de vue géochimique, que les montagnes, les fleuves, les forêts tropicales, les insectes, les volcans, ou les innombrables microorganismes qui peuplent - et à vrai dire créent - la Biosphère depuis plusieurs milliards d'années (Margulis et Sagan, 1995). Des crises de la biodiversité, des crises de l'énergie, des crises de l'environnement, des catastrophes climatiques ou écologiques, ça existe dans les sciences de la Terre et de la Biosphère. Cette récente prise de conscience du néo-catastrophisme des sciences de la Terre, découvrant (ou redécouvrant) un immense passé ponctué de catastrophes, mais d'une durée géologique incommensurablement très différente notre histoire politique, économique, militaire ou sportive, a provoqué une vive émotion chez les chercheurs qui se soucient, depuis «la révolution de l'environnement» du début des années 70, de cette question éthique inédite sans doute dans l'histoire collective de la conscience humaine : quelle Terre laisserons-nous à nos enfants, aux enfants de nos enfants... aux générations futures? L'aube de cette prise de conscience se situe, je crois, au lendemain de l'holocauste scientifico-militaire d'Hiroshima. L'avènement du catastrophisme de l'âge nucléaire explique aussi, en partie, les controverses sur l'avenir de l'humanité, sur le «destin de la Terre» (Jonathan Schell).

Ceux qui étudient l'origine et l'évolution de la vie sur Terre, y compris l'origine et l'évolution de l'espèce humaine, avec ses multiples sociétés, religions, cultures ou civilisations, commencent à prendre conscience du caractère fragile, singulier, extraordinaire, presque miraculeux, de la Vie à laquelle nous appartenons, c'est-à-dire de cette Biosphère évolutive unique en son genre dans le système solaire et l'Univers. Conscience aussi du caractère transitoire et exceptionnel de l'âge des combustibles fossiles et notamment du pétrole. L'une des grandes découvertes scientifiques du XIXe, aux répercussions métaphysiques et culturelles profondes, n'est autre que la destinée funeste de ce Soleil qu'Aristote considérait, à juste titre, comme le Premier Moteur. Avec la révolution thermo-industrielle, ce moteur était soudain descendu sur terre, sous-terre même, dans les mines de charbon, dans les entrailles de la Mère-Terre. La durée du progrès, de l'Histoire, du nouveau temps irréversible, se mesurait soudain à l'aune du grand réservoir de la nature, selon le mot de Carnot. La technique et l'exploration scientifique de la Terre repoussèrent les limites, mais la pensée des limites n'a pas disparu. Même avec les grandes espérances suscitées, dans les années 50, par l'énergie de l'atome.

La crise de l'énergie survient en même que la crise de l'environnement, notre crise écologique (White, 1967), et ce n'est pas un hasard. L'énergie est au cœur de notre

civilisation, de notre croissance économique, de notre puissance militaire. Cela dit, on redécouvre, à l'horizon de nos problèmes d'énergie et d'environnement, voire de nos problèmes de civilisation, une notion scientifique trop longtemps négligée, intuitivement imaginée sous le terme de «la Nature» par les grands naturalistes de la seconde moitié du XIXe siècle, tous plus ou moins marqués par la lecture du *Cosmos* d'Alexandre de Humboldt, définie sous le nom de «la biosphère» en 1875 par le géologue autrichien Eduard Suess (1831-1914), concept qui fut systématiquement développé, dans son sens écologique et cosmologique moderne, par le grand Académicien russe Vladimir I. Vernadsky (1863-1945) dans l'entre-deux-guerres (Vernadsky 1997), mais, hélas, dans des conditions idéologiques et politiques particulièrement défavorables.

Le XXe siècle qui vient de s'achever, si marqué par une utilisation sans cesse croissante - en milliards de tonnes par an - d'énergies fossiles, de charbon et de pétrole, par un gaspillage inconsidéré de la part de l'Occident désormais tout-puissant, ce XXe siècle marqué plus que jamais par la guerre, la violence, politique, raciale et religieuse, par un gigantisme technologique sans précédent, non seulement dans l'histoire humaine, mais aussi, apparemment, dans toute l'évolution biogéochimique de la Biosphère, ce XXe siècle, en effet, n'a guère été favorable à la grandiose découverte vernadskienne de la Biosphère, aux racines pourtant de ce qu'on nomme de nos jours l'écologie globale, la partie la plus vitale de notre nouvelle science du système Terre et des changements de l'environnement planétaire.

Cette perspective interdisciplinaire et holistique de la nouvelle science du système Terre a été adoptée par les scientifiques qui s'occupent de plus en plus de l'atmosphère et de l'environnement global. C'est aussi un aspect de la globalisation! Ce nouveau paradigme, qui rend hommage à Vernadsky et à sa théorie de la Biosphère, est dominée, inévitablement, par la puissante communauté scientifique américaine, dont les institutions, comme la NASA, la National Academy of Sciences, la National Science Foundation, le Département de l'Energie, contribuèrent fortement à sa formulation proprement planétaire. Le très ambitieux projet «Global Change», le Programme International Géosphère-Biosphère (IGBP), d'origine américaine, a été officiellement lancé par le Conseil International des Unions Sciences (ICSU) lors de sa 21e Assemblée Générale, à laquelle j'ai assisté à l'Université de Berne, en 1986. C'est vers cette époque que se cristallisa, dans le petit monde de la coopération scientifique internationale, un profond sentiment d'inquiétude et d'urgence pour les transformations accélérées que le développement techno-économique et l'explosion démographique de l'humanité font subir à l'environnement terrestre, à la Biosphère dont la survie même de l'humanité dépend. La théorie de l'Hiver Nucléaire et la surprise du «trou d'ozone» dans la stratosphère de l'Antarctique jouèrent un rôle décisif dans la politisation des questions environnementales globales. La nouvelle diplomatie environnementale s'attaqua d'abord à la question de la couche d'ozone stratosphérique, détruite par les fameux CFC. Après le Protocole de Montréal, en 1987, l'affaire de l'effet de serre se présenta comme autrement plus redoutable, précisément parce qu'elle touchait le secteur stratégique de l'énergie, et notamment des combustibles fossiles, mais pas uniquement, et é vrai dire c'est bien tout le développement économique moderne, issu de l'industrialisation, qui se trouvait remis en question.

Le sentiment d'urgence fut nettement exprimé en 1988, devant le Congrès américain par James Hansen, un spécialiste de l'effet de serre et de la climatologie planétaire à la NASA, et par la Conférence de Toronto sur l'évolution de l'atmosphère et la sécurité du globe. Il se trouva alors en phase avec l'inquiétude de

nombreux citoyens des pays industrialisés, ébranlés par la catastrophe nucléaire de Tchernobyl et l'effrayant «trou d'ozone». La pression des scientifiques de l'ICSU et experts de l'OMM et du PNUE monta d'un cran. De nombreuses initiatives avaient déjà été prises par la coopération scientifique internationale. Dans le cadre des Nations Unies, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement rivalisait avec l'Organisation Météorologique Mondiale. Le PNUE avait remporté une victoire spectaculaire avec la signature, en 1987, du Protocole de Montréal, visant la réduction de la production des CFC accusés (par Molina et Rowland depuis 1974) de détruire la couche d'ozone. Mais l'effet de serre, c'était autrement plus compliqué, plus politique, plus difficile aussi, parce qu'une réduction draconienne des gaz à effet de serre touche de plein fouet non seulement d'énormes intérêts mais encore tout un mode de vie, celui de la société de consommation dont l'American Way of Life donna l'exemple aux lents de la Deuxième Guerre mondiale et de ses traumatismes qu'on souhaitait oublier.

La Conférence de Toronto demandait une réduction rapide de 20% des gaz à effet de serre! Pour éviter notamment que la concentration du CO₂ dépasse de 50% le niveau de l'ère préindustrielle, le premier rapport de l'IPCC, en 1990, estimait qu'il faudrait réduire continuellement les émissions anthropiques annuelles à environ 50% de leur valeur actuelle d'ici à 2050. Afin de stabiliser les concentrations aux niveaux de 1990, il faudrait réduire immédiatement de 60% à 80% (IPCC, 1990a). Que peuvent faire les hommes politiques face à un tel défi?

Il convient bien évidemment de rappeler ici la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Ce texte de droit international a été négocié et adopté très rapidement, notamment grâce à l'énorme travail préparatoire des experts scientifiques de l'IPCC depuis 1988, expertise sur laquelle il nous faudra revenir dans la discussion. Cette Convention qui forme un cadre général pour les futures négociations a été signée à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, le fameux Sommet de la Terre de Rio de Janeiro, en juin 1992, vingt après la Conférence de Stockholm. Cette Convention, parallèle à la Convention sur la diversité biologique (la biodiversité, tout aussi controversée, n'est pas sans liens avec les changements climatiques!), est entrée en vigueur le 21 mars 1994.

Son objectif principal est d'assurer une stabilisation «des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Il conviendra d'atteindre ce niveau dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable.»

En 1997, la Conférence de Kyoto, la troisième Session de la Conférence des Parties de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, a adopté, non sans mal, le Protocole dit de Kyoto qui demande une réduction globale de 5% (variable selon les pays) du CO₂ et d'autres gaz à effet de serre pour les pays de l'Annexe I (c'est-à-dire les pays industriels avancés et les pays en transition vers une économie de marché). A ce jour, aucun des pays industrialisés concernés n'a encore ratifié ce protocole. Par ailleurs, la récente réunion de l'OPEP qui a décidé le relèvement de ses taux de production pétrolière ne va certainement pas dans le sens de la sortie de l'âge des combustibles fossiles qui est le grand responsable du risque du renforcement de l'effet de serre. Comme le pensent de nombreux experts de l'énergie, la décarbonisation du système énergétique mondial est sans doute la meilleure politique de prévention des risques climatiques, mais personne ne veut montrer l'exemple de peur de perdre sa place dans la compétition

commerciale, économique, industrielle et militaire du grand jeu de la politique internationale.

Les controverses liées à l'existence de cette Convention des Nations sur le climat et surtout à sa mise en oeuvre, sont inévitables, en raison bien davantage des enjeux politiques et économiques que des incertitudes scientifiques, qui servent en l'occurrence d'alibis pour le «business as usual». Dans la mesure où il faudrait chercher radicalement de nouvelles politiques énergétiques, pour sortir, le plus vite possible de l'ère des combustibles fossiles, ou du moins en réduire énormément la part dans la production mondiale de l'énergie primaire, on voit bien que l'avis des experts des problèmes énergétiques et des stratégies de développement n'a plus la même allure que le «consensus scientifique» exprimé par le Groupe de Travail I de l'IPCC. Dès 1990, un rapport de Greenpeace souligna cette contradiction entre le défi formulé par le Groupe I et les réponses proposées par le Groupe III de l'IPCC.

En matière de développement, de choix technologiques, de stratégies énergétiques, qui sont des choix de société, comme l'a souligné dès le début des années 1970 un Amory Lovins, les experts ne peuvent se substituer au débat démocratique. Ils ont mission, en principe, d'éclairer les débats politiques et le processus de décision, notamment en explicitant les différents points de vue scientifiques, les divergences techniques, les marges d'erreur, l'ampleur des incertitudes, voire de l'ignorance humaine. A fortiori, les aspects sociaux et éthiques sont particulièrement délicats, et dépendent largement de la composition même du groupe d'experts, comme on l'a vu avec le Groupe III de l'IPCC, largement dominés intellectuellement par des économistes occidentaux qui possèdent un foi assez surprenante, en matière d'éthique, dans les mécanismes du marché capitaliste moderne. L'expertise scientifique est un genre d'exercice intellectuel en situation d'urgence et de contraintes politiques bien plus difficile qu'on le croit, comme l'explique d'une manière remarquable Philippe Roqueplo, l'un des rares experts, à ma connaissance, du concept même d'expertise scientifique en régime démocratique. Les scientifiques appelés à donner un avis d'expert, ne l'oublions pas, sont souvent juges et parties! Ils défendent notamment le point de vue de leur discipline, de leur profession, de leur appartenance institutionnelle, nationale et inévitablement culturelle. Bien des experts de pays du tiers-monde, de l'Inde notamment, ont crié au scandale, au «colonialisme environnemental», en examinant la manière dont les experts occidentaux, essentiellement américains, calculaient les responsabilités respectives dans les émissions de gaz à effet de serre!

Un débat peut donc en cacher un autre, parfois plus fondamental.

En amont de l'affaire de l'effet de serre, il y a bien la révolution énergétique de l'industrialisation, autrement dit un modèle de développement, le développement économique, avec sa théorie économique occidentale de la croissance, qui repose essentiellement sur l'exploitation des ressources minérales de la croûte terrestre, et non plus sur les ressources biotiques de la Biosphère. Or, c'est ce modèle de développement qui s'est imposé - à vrai dire a été imposé par les Grandes Puissances victorieuses - au reste du monde depuis les deux guerres mondiales du XXe siècle qui entraînèrent une militarisation et une industrialisation incroyable de la planète et de la multitude des peuples qui firent leurs cultures, leurs agricultures, leurs modes de vie, complètement bouleversés par la technologie occidentale qu'on ne peut mieux décrire que comme une technologie de la puissance. Ce sont les deux guerres mondiales qui mirent en évidence l'importance stratégique fondamentale des ressources minérales, énergétiques notamment, le charbon, symbole traditionnel de la révolution industrielle avec la machine à vapeur, certes, mais surtout le pétrole,

base de la mécanisation et de la mobilité des armées modernes, des chars d'assaut, de la marine et de l'aviation, et, au-delà de cette énorme arsenal des Etats-modernes, base en fait de toute la civilisation technologique dont le développement mondial actuel, la globalisation comme on dit, est précisément au coeur du débat qui est celui de cette Journée du CUEPE, à savoir les controverses sur l'énergie et le climat.

En aval de l'affaire de l'effet de serre, il y a l'immense problème, à la fois économique et politique, des stratégies de développement des nations dont les niveaux de développement industriel, et donc de consommation de ressources minérales, notamment d'énergies fossiles par tête d'habitant, sont extrêmement différents, au point que la Convention sur le climat coupe le monde en deux, ceux qui sont juridiquement responsables, à savoir les pays actuellement industrialisés, et ceux qui n'ont pas, actuellement, de responsabilité juridique, à savoir les pays qui sont seulement, pour l'instant, en voie de développement. Par tête d'habitant, leur consommation de charbon et de pétrole est en effet sans commune mesure avec l'énorme consommation des grandes puissances industrielles. Cependant, avec la croissance économique d'un certain nombre de grands pays en voie de développement, comme la Chine ou l'Inde, la part de ces pays dans l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre n'est plus du tout négligeable. Bien plus, ce qui est en question ce n'est pas seulement les émissions, c'est aussi la capacité d'absorption, ce que les géochimistes appellent les puits, en l'occurrence les écosystèmes terrestres et notamment la végétation, les forêts tout particulièrement. Or, dans bien des pays tropicaux, la forêt est de plus en plus systématiquement détruite, voire brûlée, ce qui contribue directement au déséquilibre croissant du cycle du carbone, sans parler ici de la perte irrévocable de biodiversité, laquelle n'est d'ailleurs pas sans rapport avec l'équilibre du système climatique. Comme on le voit, il y a là une source énorme de conflit pour les négociations internationales en cours.

Les rapports science et politique, noués depuis longtemps par les affaires militaires et la guerre, ont désormais pris une tournure inattendue. Les savants ne disent plus : vous avez un problème politique, nous avons une solution technique (en l'occurrence les bombes atomiques, les missiles, etc...), mais, avec l'aveu d'une humilité et d'une docte ignorance soudain retrouvées, nous avons un problème technique, trouvez-nous une solution politique!

Une perspective historico-critique suffisamment large et profonde permet de donner un relief particulier à la révolution énergétique, socio-écologique et anthropologique, qui accompagne ce que les économistes et les historiens du développement économique (comme le regretté Paul Baroch avec je me suis amicalement disputé pendant plus de vingt ans sur ce sujet) ont appelé la Révolution Industrielle, sans bien s'accorder sur sa signification ou sa chronologie. En étudiant l'histoire de la thermodynamique puis l'histoire de l'étude de la théorie de l'effet et du cycle du carbone, je m'étais fait une autre idée que mon ami Paul Baroch et la plupart des historiens et des théoriciens de la croissance économique, notamment à la suite d'un travail critique (à l'IUED, dans le cadre de notre groupe de recherches sur l'épistémologie de l'étude des relations interculturelles) sur le point de vue évolutionniste François Meyer, l'un des rares épistémologues de la biologie théorique, dont la *Problématique de l'Evolution* (Meyer, 1954) attire l'attention sur l'accélération du processus évolutif dont fait partie l'espèce humaine, mais dont l'évidence, à mon sens, n'existe que dans le cadre anthropologique de notre propre civilisation occidentale et encore seulement depuis la double révolution carnotienne

et darwinienne contemporaine de la révolution thermo-industrielle. Cela fait beaucoup de révolutions, je sais, mais c'est une manière de souligner la rupture opérée au milieu du XIXe siècle, grosso modo, par la machine à vapeur et son utilisation généralisée, bien plus tardive à vrai que le dit l'idéologie de l'industrialisation dont l'historiographie est bien entendu le point de vue du vainqueur, le feu des moteurs thermiques contre l'eau des moulins et de ce que Béliador, au siècle des Lumières, appelait l'Architecture hydraulique.

A la suite du retentissant «rapport Meadows» pour le Club de Rome sur *Les limites à la croissance*, publié en 1972, une année avant le premier choc pétrolier, François Meyer réactualisa sa thèse sous le titre *La surchauffe de la croissance* (Meyer 1974). C'est, à mon sens, une excellente métaphore thermodynamique pour le sur-développement notre «société chaude», pour reprendre l'expression célèbre de l'anthropologue Claude Lévi-Strauss, qui a toujours critiqué la vision énergétique linéaire (comme celle de Leslie White) de la prétendue évolution progressive des sociétés humaines, dont, bien entendu, la société occidentale moderne serait le sommet ou la pointe évolutive avancée (comme l'affirmait le savant jésuite Pierre Teilhard de Chardin). De plus, «la surchauffe de la croissance», dans l'esprit d'un disciple de Georgescu-Roegen, semble tout à fait appropriée pour introduire notre débat sur l'énergie et le climat, et donc l'effet de serre, et les controverses qui traversent ce débat.

En mentionnant le nom de Georgescu-Roegen, que certains ici ne connaissent peut-être pas, je dois rappeler, brièvement, qu'il existe aussi, en relation directe avec les débats sur la crise énergétique et la crise de l'environnement, une affaire Nicholas Georgescu-Roegen, sur laquelle j'ai déjà beaucoup écrit. Georgescu-Roegen, l'un des grands économistes du XXe siècle, disciple de Joseph Schumpeter et rival scientifique de son ami Paul Samuelson, est l'auteur de trois livres révolutionnaires : *Analytical Economics : Issues and Problems* (Harvard University Press, 1966), *The Entropy Law and the Economic Process* (Harvard University Press, 1971), et *Energy and Economic Myths* (Pergamon Press, 1976). *The Entropy Law and the Economic Process* est l'un des ouvrages les plus révolutionnaires de la pensée scientifique et philosophique du XXe siècle, dont les implications pour l'économie du développement, et notamment pour l'économie de l'énergie et des ressources naturelles, n'a pas encore été pleinement comprises, malgré l'essor récent d'une «économie écologique» et d'une «écologie industrielle», qui toutes deux doivent beaucoup à la publication, en 1971, et de cet opus magnum de Georgescu-Roegen, significativement publié la même année que *The Closing Circle* de Barry Commer et *The Environment, Power and Society* d'Howard T. Odum, deux ouvrages écologiques qui se rapprochaient de l'économie, tandis que le livre de Georgescu-Roegen rapprochait l'économie de l'écologie. On pourrait d'ailleurs citer encore d'autres ouvrages remarquables qui font de cette année 1971 une «année admirable» dans l'histoire de la pensée scientifique occidentale, marquant incontestablement un tournant pour les rapports entre le développement économique mondial et l'écologie globale, interactions au centre desquelles se situe l'énergie.

Ce n'est pas un hasard si c'est au début des années 1970, à l'époque de l'émergence politique de l'écologie, de «la révolution environnementale» (Max Nicholson), peu avant donc ladite «crise de l'énergie» provoquée par l'utilisation de «l'arme du pétrole» à l'occasion de la guerre israélo-arabe dite du Kippour (rendue possible par la situation énergétique des Etats-Unis qui venaient de franchir le pic du maximum de sa production pétrolière, comme l'avait prévu, depuis 1956, la fameuse «courbe de Hubbert»), que furent publiés les fondements d'une nouvelle

vision scientifique du développement, prenant en compte et la révolution darwinienne de l'écologie évolutive et la révolution carnotienne de la thermodynamique. Cette nouvelle vision «macroscopique» (selon le terme d'Odum repris en France par Joël de Rosnay) met en évidence le métabolisme global de l'activité humaine, à la fois biologique et technologique, métabolisme bioéconomique énormément amplifié par nos organes exosomatiques (terme empreinté par Georgescu-Roegen à Lotka pour désigner nos prothèses ou nos extensions techniques). Ce faisant, on voit bien que le problème de la perturbation du système climatique provient de cette excroissance technologique de la civilisation thermo-industrielle qui alimente ses moteurs non plus avec la puissance biologique et le flux renouvelable des forces naturelles présentes dans le cycle vital de la Biosphère et de son système climatique, met avec la combustion des stocks d'énergies fossiles extraits des gisements les plus accessibles et les plus concentrés, et donc les plus improbables (avec une haute valeur en basse entropie), du «réservoir» du sous-sol de la Nature (c'est-à-dire de la Biosphère) que la géochimie appelle la lithosphère. La perturbation brutale du système climatique par le développement de l'industrialisation provient de cette expérimentation géochimique humaine proprement inconsiderée, pour reprendre l'image célèbre de Roger Revelle, le Monsieur "Greenhouse" des Américains, le professeur à Harvard de l'actuel vice-président Al Gore.

Les critiques se plaisent en effet à mettre en évidence les écarts entre les observations et les modèles, mais ce genre d'écarts fait partie du travail scientifique ordinaire. On n'a jamais dit qu'un modèle, et surtout un modèle numérique aussi grossier que ceux qui représentent l'évolution de l'atmosphère, correspondait parfaitement à la réalité. C'est un outil méthodologique pour chercher à comprendre des mécanismes et des processus dynamiques infiniment complexes dont on sait bien que la prédictabilité est intrinsèquement limitée, comme le soulignent les spécialistes de la théorie mathématique du chaos créée précisément par un météorologue, Edward Lorenz, qui a toujours insisté sur le caractère proprement irrégulier de la dynamique de l'atmosphère. Mais, encore une fois, si les météorologues restent souvent sceptiques devant les prévisions des modélisateurs de l'évolution climatique de la planète, il n'empêche que tous les modèles vont dans le même sens, à savoir un réchauffement global. Mais celui-ci pourrait tout aussi bien signifier un refroidissement local majeur pour certaines parties de la géographie de la Biosphère, et notamment l'Europe occidentale réchauffée par l'océan Atlantique, dans lequel la circulation thermohaline, au dire de l'éminent professeur Wallace Broecker, représente un véritable talon d'Achille. Tout ceci est parfaitement reconnu dans les rapports du Groupe de travail I, qui s'occupe de l'état du savoir scientifique, de l'IPCC. Ce qui fait problème, à mon sens, ce n'est pas la gravité de la menace globale, c'est leur distribution géographique et temporelle, et plus encore les mesures à prendre, demain ou tout de suite (et c'est bien là le problème politique), pour en atténuer ou en éviter, si possible, les effets. La plupart des mesures ont été envisagées par les experts. Elles concernent au premier chef les technologies et l'économie de l'énergie, mais à condition d'être intégrées dans des stratégies de développement durable, comme on dit. Là est la question : qu'est-ce que le développement durable? Durable pour qui? Durable pendant combien de temps? Durable pourquoi?

Les controverses qui animent de nos jours l'affaire de l'effet de serre ne sont manifestement pas sans rapports avec les polémiques, souvent virulentes, qui accueillent, depuis plus d'une trentaine d'années, les thèses des militants écologistes contestataires, dont les arguments proviennent de sources très diverses, mais notamment de la science écologique elle-même, dont les ambitions philosophiques n'ont cessé de se développer au cours du XXe siècle au point d'apparaître, surtout depuis les années 70, comme une nouvelle philosophie de la Nature, de la Vie sur Terre, de la vie de la Terre, d'où l'émergence du paradigme de l'écologie globale, centrée sur le concept biogéochimique et énergétique planétaire de la Biosphère (Odum, 1953; Hutchinson, 1970). Il se trouve en effet que ce paradigme écologique est aussi un paradigme énergétique (Odum 1970), dont l'influence, au moins académique, n'a cessé de se développer depuis le début des années 70, et surtout après le premier choc pétrolier de 1973-74. Ce paradigme énergéico-écologique a même provoqué la naissance d'une nouvelle discipline hybride au carrefour de l'écologie, de l'analyse énergétique et de l'économie, la fameuse économie écologique. Sa visibilité scientifique est de plus en plus grande grâce au dynamisme de l'International Society for Ecological Economics. C'est une école de pensée qui se présente comme une avant-garde intellectuelle, ouvertement opposée au dogme néoclassique de l'économie dominante. On ne comprend guère la virulence des controverses qui entoure le «consensus scientifique» sur les risques du réchauffement de la Terre provoqué par la dérive anthropogénique de l'effet de serre si on ne prend pas en compte le conflit épistémologique fondamental qui oppose la science économique dominante à ce nouveau paradigme de la vision écologique du monde qui plaide pour le «développement soutenable de la Biosphère», pour reprendre le titre d'un rapport de 1986 de l'IIASA (Clark et Munn, eds. 1986).

Ce qui est aujourd'hui en question, au-delà de l'aventure historique de l'Europe qui façonna les Temps Modernes, pour le meilleur et pour le pire, c'est bien la poursuite et la mondialisation de ce modèle de civilisation qu'on appelle, officiellement, dans les relations internationales, le Développement. Depuis le Sommet de la Terre de Rio et son fameux Agenda 21, tout le monde parle de «développement durable». Mais quels sont les moteurs du développement durable? Voilà la grande question. Les centrales nucléaires ou les technologies solaires? On sait que sur ce point les experts scientifiques divergent totalement.

Lorsque le CUEPE m'a invité à donner un exposé introductif général à ce colloque sur «L'expertise scientifique, l'énergie et le climat : pourquoi tant de controverses?», j'ai accepté, non seulement parce que ce sujet m'intéresse depuis des années, à vrai dire depuis l'époque de ma rencontre avec Georgescu-Roegen, en 1974, en pleine «crise de l'énergie», mais encore parce que j'avais une petite arrière-pensée. Je vous l'avoue bien volontiers. J'ai en effet immédiatement pensé que cette intervention me donnerait l'occasion de recycler, pour ainsi dire, la conférence que j'avais envie de faire, depuis un certain temps, sur le thème du pétrole et du développement durable, c'est-à-dire écologiquement soutenable et socialement équitable. J'avais même imaginé comme titre pour cette conférence : «Le pétrole : talon d'Achille du développement durable?». Le point d'interrogation est important.

Bien entendu, le thème de cette journée du CUEPE 2000 est à la fois plus large et plus précis, mais tout le monde comprend facilement qu'il ne nous sera pas possible de contourner la brûlante question du pétrole, pour de multiples raisons. J'en évoque immédiatement les plus évidentes. Tout d'abord, le pétrole est à la base de notre société de consommation, ce niveau et ce genre de vie que le Président Bush,

au Sommet de la Terre de Rio, excluait de toute négociation internationale ("The American way of life is not up for negociation"). Deuxièmement, les intérêts des pays exportateurs de pétrole et, avec des exceptions notables, de l'énorme industrie pétrolière occidentale, à laquelle est associée le puissant lobby des transports routiers, aériens et maritimes, et du tout aussi puissant secteur de l'automobile, n'est pas sans rapport avec les controverses qui entourent le débat sur l'effet de serre et à vrai dire toute la crise environnementale. Enfin, n'oublions pas que l'avenir du pétrole, peut-être plus encore que l'avenir du climat, fait de nos jours l'objet de points de vue radicalement opposés, comme en témoignent la divergence des articles récemment parus dans des revues aussi prestigieuses et autorisées que *Nature* (Hatfield 1997), *Science* (Kerr 1998), *The Economist* (6-12 mars 1999) ou *Foreign Affairs* (Jaffe et Manning 2000). L'évolution du marché du pétrole conditionne largement le débat politique sur les stratégies énergétiques et les politiques environnementales.

Il est clair que le débat politique sur l'énergie a été dramatiquement posé au début des années 1970, à l'occasion de la guerre israélo-arabe dite du Kippour. C'est à cette époque, encore proche de l'émergence politique, surtout aux Etats-Unis, de la crise écologique et du thème de l'environnement, qu'est née, dans les milieux académiques et au niveau des administrations publiques, la problématique de l'énergie et de l'environnement, dont le climat n'est qu'un aspect, mais aussi l'aspect le plus global et le plus chaotique (au sens de la théorie mathématique dont le père est le météorologue américain Edward Lorenz). Cela dit, la rencontre de la crise de l'énergie (c'est ainsi qu'on appela le « choc pétrolier » de 1973-74) et de la crise de l'environnement, n'est pas une conjonction totalement fortuite de l'histoire politique du pétrole et des relations internationales si souvent marquée par la guerre. La question du pétrole, des hydrocarbures, et plus généralement des ressources énergétiques fossiles, doit s'inscrire dans une perspective plus large que celle des économistes et des politologues, du moins si on veut aborder, comme il convient, la problématique « énergie et climat », qui est, comme on va le voir, étroitement liée à la question géophysique, géochimique et biogéochimique de l'effet de serre.

Si nous savons tous ici que la réflexion et la recherche sur les rapports Energie, Environnement et Société ont été essentiellement développées à la suite du choc pétrolier de 1973-74, qui frappa si dramatiquement l'opinion occidentale, on sait moins que le monde de la recherche scientifique n'avait attendu cette guerre israélo-arabe pour explorer les rapports entre l'énergie et l'atmosphère. Un débat, comme je l'ai dit, peut en cacher un autre. En l'occurrence, le débat sur l'énergie et le climat masque, dans la grande presse, le débat scientifique bien plus fondamental qui oppose différentes conceptions de l'atmosphère, et donc du système climatique, et plus encore du rôle des processus biologiques dans la structure, le fonctionnement et l'évolution géochimique de la Terre en tant que planète habitable.

Il s'agit d'un problème (ou plutôt un ensemble de problèmes) dont l'historique, encore souvent mal connu, est inséparable des observations, des mesures, des expérimentations, des théories, des modèles et des interprétations de notre « science moderne », développée, comme chacun sait, au sein de la culture judéo-chrétienne de l'Occident depuis la Révolution Scientifique qui est, comme on commence à le souligner, contemporaine de ce que les historiens de l'Etat moderne (Porter, 1994) nomme « la révolution militaire », une perspective que j'ai pour ma part adoptée, à titre d'hypothèse de travail, depuis le début des années 1970, dans mes travaux sur la révolution carnotienne (Grinevald 1981, 1982).

Je me permets de rappeler ici ce concept de « révolution carnotienne », parce qu'il éclaire l'évolution de la technologie de l'énergie qui caractérise le développement de

la puissance de la civilisation thermo-industrielle, issue de l'aventure militaro-scientifique de l'Europe classique (Grinevald 1977, 1991). Je dis cela parce qu'on ne comprend pas la situation économique et sociale du monde actuel et sa crise écologique si on ne prend pas la mesure de sa dynamique historique en longue durée. C'est avec ses «machines à feu», les canons et la machine à vapeur, que l'Occident a mis en branle le reste du monde, non seulement les autres civilisations et les autres peuples, que notre modernité occidentale appela (au lendemain de la Deuxième Guerre mondiale) «sous-développés», parce qu'ils n'avaient pas notre savoir scientifique et notre puissance technologique, mais encore, et d'une manière plus insidieuse, le monde au sens géologique du terme, autrement dit la face de la Terre elle-même.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abrahamson, Dean Edwin, ed. 1989. *The Challenge of Global Warming*, Introduction by Senator Timothy Wirth, Washington, D.C., Island Press.
- Agarwal, Anil et Sunita Narain. 1991. *Global Warming in an Unequal World : a Case of Environmental Colonialism*, New Delhi, Centre for Science and Environment.
- Ausubel, Jesse H. et Asit K. Biswas, eds. 1980. *Climatic Constraints and Human Activities*, IIASA, Oxford, Pergamon Press.
- Bach, Wilfrid. 1984. *Our Threatened Climate : Ways of Averting the CO2 Problem through Rational Energy Use*, Dordrecht, Reidel.
- Bach, Wilfrid et al. 1980. "The carbon dioxide problem : an interdisciplinary survey", *Experientia*, 36(7), p.767-890.
- Bach, Wilfrid et al., eds. 1983. *Carbon Dioxide : Current Views and Developments in Energy/Climate Research*, Dordrecht, Reidel.
- Bach, Wilfrid, Jürgen Pankrath et William Kellogg, eds. 1979. *Man's Impact on Climate*, Amsterdam, Elsevier.
- Bach, Wilfrid, Jürgen Pankrath et Jill Williams, eds. 1980. *Interactions of Energy and Climate*, Dordrecht, Reidel.
- Baes, Jr., Charles F. et al. 1977. "Carbon dioxide and climate : the uncontrolled experiment", *American Scientist*, 65, p.310-320.
- Barker, Terry, Paul Ekins et Nick Johnstone, eds. 1995. *Global Warming and Energy Demand*, London, Routledge.
- Benedick, Richard Elliot. 1991. *Ozone Diplomacy : New Directions in Safeguarding the Planet*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Benedick, Richard Elliot, ed. 1991. *Greenhouse Warming : Negotiating A Global Regime*, Washington, D.C., World Resources Institute.
- Berger, André. 1992. *Le Climat de la Terre : Un passé pour quel avenir?*, préface de Pierre Morel, Bruxelles, De Broeck Université.
- Berner, Elizabeth K. et Robert A. Berner. 1995. *The Global Environment : Water, Air and Geochemical Cycles*, Upper Saddle River, N.J., Prentice-Hall.
- Boden, Thomas A. et al., eds. 1990. *Trends '90 : A Compendium of Data on Global Change*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge, TN, Oak Ridge National Laboratory. (nouvelles éditions : 1991, 1994, 1998)
- Bolin, Bert. 1977. "The impact of production and use of energy on the global climate", *Annual Review of Energy*, 2, p.197-226.
- 1994. "Science and policy making", *Ambio*, 23(1), p.25-29.
- 1995. "Fions-nous à la science", *Notre Planète*, (PNUE), 7(2), p.23-24.
- 1998. "The Kyoto negotiations on climate change : a science perspective", *Science*, (16 janvier) 279, p.330-331.
- Broecker, Wallace S. 1987. "Unpleasant surprises in the greenhouse?", *Nature*, 328, p.123-126.

- 1997. "Thermohaline circulation, the Achilles heel of our climate system : will man-made CO2 upset the current balance?", *Science*, 278, p.1582-1588.
- Budyko, Mikhail I. 1986. *The Evolution of the Biosphere*, Dordrecht, Reidel.
- Bunyard, Peter, ed. 1996. *Gaia in Action : Science of the Living Earth*, Edinburgh, Floris Books.
- Caldwell, Lynton K. 1985. "Science will not save the Biosphere but politics might", *Environmental Conservation*, 12(3), p.195-197.
- Campbell, Colin J. 1997. *The Coming Oil Crisis*, Brentwood, UK, Multi-Science Company & Petroconsultants.
- Campbell, Colin J. et Jean Laherrère. 1998. "The end of cheap oil", *Scientific American*, 278(3), p.78-83. (trad. fr.: "La fin du pétrole bon marché", *Pour la Science*, mai 1998, 247, p.30-36)
- Cess, Robert D. et al. (31 coauteurs). 1990. "Intercomparison and interpretation of climate feedback processes in 19 atmospheric general circulation models", *Journal of Geophysical Research*, 95, p.16601-16615.
- Cess, Robert D. et al. (29 coauteurs). 1993. "Uncertainties in carbon dioxide radiative forcing in atmospheric general circulation models", *Science*, 262, p.1252-1255.
- Clark, William C. et al. 1997. *A Critical Evaluation of Global Environmental Assessments : The Climate Experience*, Harvard University, The Global Environmental Assessment Project. (communication personnelle)
- Clark, William C., ed. 1982. *Carbon Dioxide Review : 1982*, Oxford, New York, Oxford University Press.
- Clark, William C. et R.E. Munn, eds. 1986. *Sustainable Development of the Biosphere*, IIASA, Cambridge, Cambridge University Press.
- Clark, Wilson. 1974. *Energy for Survival : The Alternative to Extinction*, New York, Anchor Press.
- Cohen, Joel E. 1995. "Population growth and the Earth's human carrying capacity", *Science* (21 juillet) 269, p.341-346..
- Cook, Earl. 1976. *Man, Energy, Society*, San Francisco, Freeman.
- Corson, Walter H., ed. 1990. *The Global Ecology Handbook : What You Can Do about the Environmental Crisis*, Boston, Beacon Press.
- Daly, Herman. 1996. *Beyond Growth : The Economics of Sustainable Development*, Boston, Beacon Press.
- Daly, Herman et John B. Cobb. 1994. *For the Common Good*, Boston, Beacon Press, 2e éd. (1ère éd. 1989)
- Davis, Ged R. 1990. "Energy for planet earth", *Scientific American*, special issue, septembre, 263(3), p.55-62. ("L'énergie sur Terre", *Pour la science*, no. spécial «L'Énergie», novembre 1990, 157, p.26-34)
- Dessus, Benjamin. 1996. *Energie : un défi planétaire*, Paris, Belin. (2e éd. 1999)
- Dornbusch, Rudiger et James M. Poterba, eds. 1991. *Global Warming : Economic Policy Responses*, Cambridge, Mass., MIT Press.
- Ehrlich, Paul R., Anne H. Ehrlich et John P. Holdren. 1977. *Ecoscience : population, resources, environment*, San Francisco, Freeman.
- Ekins, Paul. 1995. "Rethinking the cost related to global warming : a survey of the issues", *Environmental and Resource Economics*, 6(3), p.1-47.
- Erkman, Suren. 1998. *Vers une écologie industrielle*, Paris, Editions Charls Léopold Mayer.
- Everest, David. 1988. *The Greenhouse Effect : Issues for Policy Makers*, London, Royal Institute of International Affairs.
- Fankhauser, Samuel. 1995. *Valuing Climate Change : The Economics of the Greenhouse*, London, Earthscan.
- Flohn, Herman. 1977a. "Climate and energy : a scenario to a 21st century problem", *Climatic Change*, 1(1), p.5-20.
- Gassmann, Fritz. 1996. *Effet de serre. Modèles et réalités*, trad. de l'allemand, Genève, Georg, coll. «Précis de l'environnement».
- Gelbspan, Ross. 1997. *The Heat Is On : The High Stakes Battle over Earth's Threatened Climate*, Reading, Mass., Addison-Wesley.

- Georgescu-Roegen, Nicholas. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- 1976a. *Energy and Economic Myths*, New York, Pergamon Press.
 - 1976. "Economics and mankind's ecological problem", in Congress of the United States, Joint Economic Committee, *U.S. Economic Growth from 1976 to 1986 : Prospects, Problems, and Patterns*, vol. 7 - *The Limits to Growth*, 94th Congress, 2d Session, December 17, 1976, Washington, U.S. Government Printing Office, p.62-91.
 - 1995. *La Décroissance : entropie-écologie-économie*, présentation et traduction de Jacques Grinevald et Ivo Rens, Paris, Sang de la terre. (1ère éd.: *Demain la décroissance : entropie-écologie-économie*, Lausanne, Favre, 1979)
- Gever, John, Robert Kaufman, David Skole et Charles Vorosmarty. 1986. *Beyond Oil : The Threat to Food and Fuel in the Coming Decades*, Cambridge, Mass., Ballinger. (3e éd.: Niwot, University Press of Colorado, 1991)
- Glen, William, ed. 1994. *The Mass-Extinction Debates : How Science Works in a Crisis*, Stanford, Stanford University Press.
- Goldemberg, José. 1996. *Energy, Environment and Development*, London, Earthscan.
- Gore, Al. 1992. *Earth in the Balance : Ecology and the Human Spirit*, Boston, Houghton Mifflin. (trad. fr.: *Sauver la planète Terre : L'écologie et l'esprit humain*, Paris, Albin Michel, 1993)
- Graedel, Thomas E. et Paul Crutzen. 1993. *Atmospheric Change : an Earth System Perspective*, New York, Freeman.
- Greenpeace. 1993. *Fossil Fuels in a Changing Climate : How to Protect the World's Climate by Ending the Use of Coal, Oil, and Gas*, Amsterdam, Greenpeace International.
- 1994. *Climate Time Bomb*, Amsterdam, Greenpeace International.
- Gribbin, John, ed. 1978. *Climatic Change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Grinevald, Jacques. 1974. "L'économiste Georgescu-Roegen : intégrer l'économie dans la problématique énergétique et écologique", *Uni Information*, Service de presse et d'information de l'Université de Genève, 36, p.28-29.
- 1977. "Révolution industrielle, technologie de la puissance et révolutions scientifiques", in *La Fin des outils : technologie et domination*, Cahiers de l'IUED, 5, Paris, PUF, p.147-202.
 - 1981. "Bibliographie", in Association pour l'Appel de Genève, *Livre jaune sur la société du plutonium*, Neuchâtel, Editions de la Baconnière, p.302-317.
 - 1981. *Le développement et la révolution carnotienne*, Area Interdisciplinar de Energia, Universidade federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, PDD 03-81.
 - 1982. "La thermodynamique, la révolution industrielle et la révolution carnotienne", *Entropie*, no. hors série «Thermodynamique et sciences de l'homme», p.21-32.
 - 1984. *Dimensions historiques et culturelles de la problématique énergétique en Europe*, ISPRA-Course : Energy Planning and Management : Experience in Europe and Advanced Developing Countries, Commission of the European Communities, Joint Research Centre (Euratom), Ispra, EMP/84/2.
 - 1987. "On a holistic concept for deep and global ecology : The Biosphere", *Fundamenta Scientiae*, 8(2), p.197-226.
 - 1990a. *The Industrial Revolution and the Earth's Biosphere : A Scientific Awareness in Historical Perspective*. Selective bibliographical notes, Bern, Swiss Academy of Sciences, ProClim PWS.4, Publ. 90/1.
 - 1990b. "Effet de serre et histoire des sciences", in *La Menace climatique*, Silence-WWF, Silence hors série no 3, p.19-24.
 - 1990c. "L'effet de serre de la Biosphère : de la révolution thermo-industrielle à l'écologie globale", *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, 1, p.9-34.
 - 1991a. "Menaces climatiques : l'affrontement scientifiques-politiques", in Armand Petitjean et Jacques Robin, eds., *Mieux penser l'écologie*, Documents Transversales no. 2, Paris, Transversales, p.49-54.
 - 1991b. "L'aspect thanatocratique du génie de l'Occident et son rôle dans l'histoire humaine de la Biosphère", *Revue européenne des sciences sociales (Cahiers Vilfredo Pareto)*, 91, p.45-64.
 - 1992. "De Carnot à Gaïa : histoire de l'effet de serre", *La Recherche*, mai (spécial «l'effet de serre») 243, p.532-538.

- 1993. "Vernadsky e la scienza della biosfera", in V. Vernadsky, *La Biosfera*, Como, Red edizioni, p.9-53.
- 1993. "The Biosphere and the Noosphere revisited : biogeochemistry and bioeconomics", in J.C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milan, Nagard, p.241-258.
- 1994. "Changements climatiques et considérations sociales [IPCC Working Group III Workshop on equity and social considerations]", *Transversales : Science/Culture*, 29, p.11-12.
- 1995. "Stephen H. Schneider : un itinéraire transdisciplinaire pour une vision écologique planétaire", *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, Genève, Médecine et Hygiène, p.99-104.
- 1997. "L'effet de serre et la civilisation thermo-industrielle 1896-1996", *Revue européenne des sciences sociales (Cahiers Vilfredo Pareto)*, 108, p.141-146.
- 1998. "Introduction : The invisibility of the Vernadskian revolution", in V. Vernadsky, *The Biosphere*, New York, Copernicus, Springer-Verlag, p.20-32.
- Grubb, Michael et al.. 1991. *Energy Policies and the Greenhouse Effect*, The Royal Institute for International Affairs, Aldershot, Dartmouth Press, 2 vols.
- Grubb, Michael. 1992. "Politique de l'énergie et effet de serre", *La Recherche*, mai (spécial «l'effet de serre»), 243, p.616-625.
- Hadley Centre. 1997. *Climate Change and its Impacts : A Global Perspective*, Bracknell, Meteorological Office.
- Hall, Charles A.S. et al. 1986. *Energy and Resource Quality : The Ecology of the Economic Process*, New York, Wiley-Interscience.
- Handel, Mark D. et James S. Risbey. 1990. *An annotated bibliography on the greenhouse effect and climate change*, Cambridge, Mass., MIT, Center for Global Change Science. (et *Climatic Change*, 1992, 21(2), p.91-255.)
- Hansen, James. 1988. "The greenhouse effect : impacts on current global temperature and regional heat waves", Statement presented to the U.S. Congress, Senate, Committee on Energy and Natural Resources, in *The Greenhouse Effect and Global Climate Change*, Hearing, June 23, 1988, 100th Congress, 1st session, part.2, Washington, D.C. U.S. Government Printing Office, p.42-49.
- Hansen, James. 1997. "Public understanding of global climate change", in Y. Terzian et Elizabeth Bilson, eds., *Carl Sagan's Universe*, Cambridge, Cambridge University Press, p.247-253.
- Hatfield, Craig Bond. 1997. "Oil back on the global agenda", *Nature*, 387, p.121.
- Hayes, Peter et Kirk Smith, eds. 1993. *The Global Greenhouse Regime : Who Pay?*, London et New York, Earthscan et UN University Press.
- Houghton, John. 1994. *Global Warming : The Complete Briefing*, Oxford, Lion Publishing. (2^e éd.: Cambridge University Press, 1997)
- Hubbert, M. King. 1956. "Nuclear energy and the fossil fuels", in *Drilling and Production Practice*, New York, American Petroleum Institute, p.7-25.
- 1972. "Man's conquest of energy : its ecological and human consequences", in *The Environmental and Ecological Forum 1970-1971*, Oak Ridge, Tenn., U.S. Atomic Energy Commission, Office of Information Services, p.1-50.
- 1981. "The world's evolving energy system", *American Journal of Physics*, 49(11), p.1007-1029.
- Jaffe, Amy Myers et Robert A. Manning. 2000. "The shocks of a world of cheap oil", *Foreign Affairs*, (janvier-février) 79(1), p.16-29.
- Jäger, Jill. 1983. *Climate and Energy Systems : A review of their interactions*, IIASA, New York, Wiley.
- Jacobson, Michael C., Robert J. Charlson, Henning Rofhe et Gordon H. Orians, eds. 2000. *Earth System Science : From Biogeochemical Cycles to Global Change*, London, Academic Press.
- Jonas, Hans. 1979. *Das Prinzip Verantwortung : Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*, Frankfurt am Main, Insel Verlag. (trad. fr.: *Le Principe Responsabilité : une éthique pour la civilisation technologique*, Paris, Cerf, 1990; rééd. Flammarion, «Champs».)
- Jones, Philip D. et Tom M.L. Wigley. 1990. "Global warming trends", *Scientific American*, 263, p.66-73. (trad. fr.: "La Terre se réchauffe", *Pour la science*, 156, p.38-47.)
- Kandel, Robert. 1998. *L'incertitude des climats*, Paris, Hachette Littérature.

- Keeling, Charles D. 1970. "Is carbon dioxide from fossil fuel changing man's environment", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 114(1), p.10-17.
- Kellogg, William W. 1974. "Mankind as a factor in climate change", in E.W. Erickson et L. Waverman eds., *The Energy Question : an international failure of policy*, Toronto, University of Toronto Press, p.241-255.
- 1977-8. "Influence des activités de l'homme sur le climat du globe (I/II)", *Bulletin de l'OMM*, 26(4), p.355-368; 27(1), p.3-11.
- 1979. "Influences of mankind on climate", *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 7, p.63-92.
- 1987. "Mankind's impact on climate : the evolution of an awareness", *Climatic Change*, 10(2), p.113-136.
- 1991. "Response to skeptics of global warming", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 72(4), p.499-511.
- Kellogg, W.W. et Robert Schwart. 1982. "Society, science and climate change", *Foreign Affairs*, 60(5), p.1076-1109.
- Kerr, Richard A. 1998. "The next oil crisis looms large - and perhaps close", *Science*, (21 août), 281, p.1128-1131.
- Krause, Florentin et al. 1990. *Energy Policy in the Greenhouse : From Warming Fate to Warming Limit*, London, Earthscan.
- Landsberg, Helmut E. 1970. "Man-made climatic changes", *Science*, 170, p.1265-1274.
- Lambert, Gérard. 1995. *L'air de notre temps*, Paris, Seuil, coll. «Science ouverte».
- La Recherche* 1992. (mai) 243 (spécial "l'effet de serre").
- Leggett, Jeremy, ed. 1990. *Global Warming. The Greenpeace Report*, Oxford, Oxford University Press. (trad. fr.: *Rapport Greenpeace. Le réchauffement de la terre*, Monaco, Editions du Rocher, 1993)
- Le Treut, Hervé. 1997. "Climat : pourquoi les modèles n'ont pas tort", *La Recherche*, 298, p.68-73.
- Levi, Barbara G., David Hafemeister et Richard Scribner, eds. 1992. *Global Warming : Physics and Facts*, New York, American Physical Society.
- Lorenz, Edward. 1984. "Irregularity : a fundamental property of the atmosphere", *Tellus*, 36A, p.98-110.
- 1993. *The Essence of Chaos*, Seattle, University of Washington Press.
- Lovelock, James E. 1979. *Gaia : A New Look at Life on Earth*, Oxford, Oxford University Press. (rééd.: 1987, 1995). (trad. fr.: *La Terre est un être vivant : l'hypothèse Gaïa*, Monaco, Editions du Rocher, 1986, rééd. Flammarion, 1993)
- 1988. *The Age of Gaia: A Biography of Our Living Earth*, New York, Norton; Oxford, Oxford University Press (2e éd. 1995). (trad. fr.: *Les Ages de Gaïa*, Paris, Odile Jacob, coll. «Opus», 1997).
- Lovins, Amory, 1977. *Soft Energy Paths : Toward A Durable Peace*, Harmondsworth, Penguin Books.
- Lovins, Amory B. and his critics. 1979. *The Energy Controversy : Soft Path Questions and Answers*, edited by Hugh Nash, San Francisco, Friends of the Earth, 450p.
- MacDonald, Gordon J., ed. 1982. *The Long-Term Impacts of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide Levels*, Cambridge, Mass., Ballinger.
- Manabe, Syukuro. 1997. "Early development in the study of greenhouse warming : the emergence of climate models", *Ambio*, 26(1), p.47-51.
- Margulis, Lynn et Dorion Sagan. 1995. *What is Life?*, New York, Simon and Schuster; London, Weidenfeld and Nicolson.
- Martinez-Alier, Juan. 1987. *Ecological Economics : Energy, Environment and Society*, Oxford, Basil Blackwell. (2e éd. 1990)
- Mathews, Jessica Tuchman, ed. 1991. *Greenhouse Warming : Negotiating a Global Regime*, Washington, D.C., World Resources Institute.
- Mayumi, Kozo et John M. Gowdy, eds. 1999. *Bioeconomics and Sustainability : Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen*, Foreword by Paul A. Samuelson, Cheltenham, Edward Elgar.

- Meadows, Donella H. et al. 1972. *The Limits to Growth*, A report for the Club of Rome, New York, Earth Island.
- Meadows, Donella H. et al. 1992. *Beyond the Limits : Confronting Global Collapse, Envirioning a Sustainable Future*, London, Earthscan.
- Meyer, Aubrey. 1995. "The unequal use of the global commons", in A. Katama, ed., *Equity and Social Considerations related to Climate Change*, papers presented to IPCC Working Group III Workshop, Nairobi, UNEP.
- Meyer, William B. 1996. *Human Impact on the Earth*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Mintzer, Irving M., ed. 1992. *Confronting Climate Change : Risks, Implications and Responses*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Mintzer, Irving M. et J. Ambert Leonard, eds. 1994. *Negotiating Climate Change : The Inside Story of the Rio Convention*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Nakicénovic, Nebojsa, Arnuld Grübler et Alan McDonald, eds. 1998. *Global Energy Perspectives*, IIASA, World Energy Council; Cambridge, Cambridge University Press.
- Nierenberg, William A., ed. 1992. *Encyclopedia of Earth System Science*, San Diego, Academic Press, 4 vols.
- Nierenberg, William A., ed. 1995. *Encyclopedia of Environmental Biology*, San Diego, Academic Press, 3 vols.
- Nilsson, Ann. 1992. *Greenhouse Earth*, SCOPE-ICSU-UNEP, Chichester, Wiley.
- Nordhaus, William D. 1977. "Economic growth and climate : the carbon dioxide problem", *American Economic Review*, 67(1), p.341-346.
- "To slow or not to slow : the economics of the greenhouse effect", *Economic Journal*, 101, p.920-937.
- 1994a. *Managing the Global Commons : The Economics of Climate Change*, Cambridge, Mass., MIT Press.
- 1994b. "Expert opinion on climate change", *American Scientist*, 82, p.45-51.
- Nouschi, André. 1999. *Pétrole et relations internationales depuis 1945*, Paris, Armand Colin.
- Odum, Eugene P. 1953. *Fundamentals of Ecology*, Philadelphia, Saunders. (2e éd. 1959; 3e éd. 1971)
- Odum, Howard T. 1971. *Environment, Power and Society*, New York, Wiley-Interscience.
- Oppenheimer, Michael et Robert H. Boyle. 1990. *Dead Heat : The Race Against the Greenhouse Effect*, London, Tauris; New York, Basic Books.
- O'Riordan, Timothy et Jill Jäger, eds. 1996. *Politics of Climate Change : a European Perspective*, London, Routledge.
- Paterson, Matthew. 1996. *Global Warming and Global Politics*, London, New York, Routledge.
- Perrodon, Alain. 1999. *Quel pétrole pour demain?*, Paris, Editions Technip.
- Petitjean, Armand, ed. 1974. *Quelles limites? Le Club de Rome répond...*, Paris, Seuil.
- Philander, S. George. 1998. *Is the Temperature Rising? The Uncertainty Science of Global Warming*, Princeton, Princeton University Press.
- Polunin, Nicholas et Jacques Grinevald. 1988. "Vernadsky and Biospherical Ecology", *Environmental Conservation*, 15(2), p.117-122.
- Porter, Bruce R. 1994. *War and the Rise of the State : The Miliary Foundations of Modern Politics*, New York, The Free Press.
- Ramade, François. 1981. *Ecologie des ressources naturelles*, Paris, Masson.
- 1987. *Les catastrophes écologiques*, Paris, McGraw-Hill.
- Ramanathan, Veerhabadrhan. 1988. "The greenhouse theory of climate change : a test by inadvertent global experiment", *Science*, (15 avril) 240, p.293-299.
- Rambler, Michael, Lynn Margulis et René Fester, eds. 1989. *Global Ecology : Towards a Science of the Biosphere*, Boston, Academic Press.
- Read, Peter. 1994. *Responding to Global Warming : The Tecnology, Economics and Politics of Sustainable Energy*, Lonndon, Zed Books.
- Rens, Ivo, ed. 1990. «Le nucléaire contre l'effet de serre?», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, Genève, Editions Médecine et Hygiène.
- 1991. «L'utilisation rationnelle de l'énergie», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, Genève, Editions Médecine et Hygiène.

- 1993. «L'explosion démographique contre le développement durable», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, Genève, Editions Médecine et Hygiène.
- 1995. «Le soleil pour un développement durable», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, Genève, Georg Editeur.
- 1996. *Le droit international face à l'éthique et à la politique de l'environnement*, Genève, Editions Georg, coll. «SEBES».
- Revelle, Roger. 1982. "Carbon dioxide and world climate", *Scientific American*, 247(2), p.35-43. (trad. fr.: "Le gaz carbonique et le climat", *Pour la Science*, 60, p.80-91)
- Revelle, Roger et Donald Shapero. 1978. "Energy and climate", *Environmental Conservation*, 5(2), p.81-91.
- Rhodes, Richard et Denis Beller. 2000. "The need for nuclear power", *Foreign Affairs*, (janvier-février) 79(1), p.30-44.
- Rochas, Micehl et Jean-Pierre Javelle. 1993. *La météorologie : la prévision numérique du temps et du climat*, Paris, Météo-France, Syros.
- Rodhe, Henning, Robert Charlson et Elisabeth Crawford, 1997. "Svante Arrhenius and the greenhouse effect", *Ambio*, 26(1), p.2-5.
- Roqueplo, Philippe. 1993a. *Climats sous surveillance : limites et conditions de l'expertise scientifique*, Paris, Economica.
- 1993b. "Effet de serre : une véritable expertise est-elle possible?", *La Recherche*, (novembre) 259, p.1280-1283.
- 1994. "Effet de serre : impasses politiques et incertitudes scientifiques", *Espirt*, 5, p.129-155.
- 1997a. "L'effet de serre est-il politiquement gérable?", *Futuribles*, 224, p.17-32.
- 1997b, *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique*, Paris, INRA Editions.
- Rosen, Louis et Robert Glasser, eds. 1992. *Climate Change and Energy Policy*, Los Alamos National Laboratory, New York, American Institute of Physics.
- Rowlands, Ian H. 1995. *The politics of global atmospheric change*, Manchester, Manchester University Press.
- Sagan, Carl. 1983. "Nuclear war and climatic catastrophe : some policy implications", *Foreign Affairs*, (Winter 83/84) 62, p.257-292.
- Samson, Paul et David Pitt, eds. 1999. *The Biosphere and the Noosphere Reader : global environment, society and change*, London et New York, Routledge.
- Santer, Benjamin D. et al. [12 coauteurs]. 1996. "A search for human influence on the thermal structure of the atmosphere", *Nature*, (4 juillet) 382, p.39-46.
- SCEP. 1970. *Man's Impact on the Global Environment*, [Wilson, Carroll L., ed.], Report of the Study of Critical Environmental Problems (SCEP), Assessment and Recommendations for Action, Cambridge, Mass, MIT Press.
- Schlesinger, William H., 1997. *Biogeochemistry : An Analysis of Global Change*, Second edition, San Diego, Academic Press. (1ère éd. 1991)
- Schneider, Stephen. 1989a. "The greenhouse effect : science and policy", *Science*, (10 février) 243, p.771-781.
- 1989b. *Global Warming : Are We Entering the Greenhouse Century?*, San Francisco, Sierra Club Books.
- 1995. *Laboratory Earth : The Planetary Gamble We Can't Afford to Lose*, New York, Basic Books, coll. «Science Masters». (trad. fr.: *La Terre menacée. Un laboratoire à risques*, Paris, Hachette Littératures, 1999)
- 1996. *Où va le climat? Que connaissons-nous du changement climatique?*, (Conférence Greenpeace, Université de Genève, 16 mars 1995, animée par J. Grinevald), Lyon, Silence.
- Schneider, Stephen et Penelope Boston, eds. 1991. *Scientists on Gaia*, Cambridge, Mass., MIT Press.
- Schwartzman, David. 1999. *Life, Temperature, and the Earth : The Self-Organizing Biosphere*, New York, Columbia University Press.
- Scientific American. 1970. *The Biosphere*. A Scientific American Book, San Francisco, Freeman.
- Scientific American. 1971. *Energy and Power*. A Scientific American Book, San Francisco, Freeman.

- 1990. special «Energy for the Planet Earth», septembre. (trad. fr.: «L'énergie», *Pour la Science*, novembre 1990)
- Serres, Micehl. 1990. *Le Contrat naturel*, Paris, François Bourin. (rééd. Flammarion, «Champs»)
- Skinner, Brian J. et Stephen C. Porter. 1995. *The Blue Planet : An Introduction to Earth System Science*, New York, Wiley.
- SMIC. 1971. *Inadvertent Climate Modification*, (Wilson, Carroll L., ed.), Study of Man's Impact on Climate (SMIC), Cambridge, Mass, MIT Press.
- Smil, Vaclav. 1991. *General Energetics : Energy in the Biosphere and Civilization*, New York, Wiley Interscience.
- 1995. *Energy in World History*, Boulder, Westview Press.
- 1997. *Cycles of Life : Civilization and the Biosphere*, New York, Scientific American Library.
- Southwick, Charles H. 1996. *Global Ecology in Human Perspective*, New York, Oxford University Press.
- The Ecologist*. 1999. special «Climate Crisis», mars/avril, 29(2), p.51-146.
- Tietenberg, Tom, ed. 1997. *The Economics of Global Warming*, The International Library of Critical Writings in Economic Series 74, Cheltenham, Edward Elgar.
- Trabalka, John R. et David E. Reichle, eds. 1985. *The Changing Carbon Cycle : A Global Analysis*, New York, Springer-Verlag.
- Turco, Richard P. 1998. *Earth Under Siege : From Air Pollution to Global Change*, New York, Oxford University Press.
- Vernadsky, Vladimir. 1924. *La Géochimie*, Paris, Félix Alcan.
- 1929. *La Biosphère*, Paris, Félix Alcan. (rééd. Diderot, coll. «Latitudes», 1997)
- 1997. *The Biosphere*, Foreword by Lynn Margulis et al., Introduction by Jacques Grinevald, Translated by David B. Langmuir, Revised and Annotated by Mark S. McMennamin, New York, Copernicus, Springer-Verlag.
- White, Lynn, jr. 1967. "The historical roots of our ecologic crisis", *Science*, (10 mars) 155, p.1203-1207. (trad. fr. par J. Grinevald, revue par l'auteur en 1978, inédit.)
- Williams, Jill, ed. 1978. *Carbon Dioxide, Climate and Society*, IIASA, UNEP, SCOPE Workshop, Oxford, Pergamon Press.
- Woodwell, George M. et Fred T. Mackenzie, eds. 1995. *Biotic Feedbacks in the Global Climatic System*, New York, Oxford University Press.
- World Resources Institute. 1987-. *World Resources*.
- Worldwatch Institut. 1984-. *State of the World*.
- Yergin, Daniel. 1991. *The Prize : the Epic Quest for Oil, Money and Power*, New York, Simon and Schuster. (trad. fr.: *Les Hommes du pétrole*, Paris, Stock, 2 vols., 1991-92)

LITTÉRATURE DES SCEPTIQUES, DES OPTIMISTES ET DES CRITIQUES DU «CONSENSUS SCIENTIFIQUE» (IPCC)

- Bailey, Ronald, ed. 1995. *The True State of the Planet*, Competitive Enterprise Institute, New York, Free Press. (2e éd.: *Earth Report 2000*, New York, McGraw-Hill, 2000)
- Balling, Robert. 1992. *The Heated Debate : Greenhouse Predictions Versus Climate Reality*, San Francisco, Pacific Research Institute for Public Policy.
- Bates, Roger et Julian Morris. 1994. *Global Warming : Apocalypse or Hot Air?*, Foreword by Wilfred Beckerman, London, Institute of Economic Affairs, IEA Studies on the Environment.
- Beckerman, Wilfred. 1991. "Global warming : a sceptical economic assessment", in Dieter Helm, ed., *Economic Policy Towards the Environment*, Oxford, Blackwell, p.52-85.
- 1995. *Small is Stupid*, London, Duckworth.
- Easterbrook, Gregg. 1995. *A Moment on the Earth : The Coming Age of Environmental Optimism*, New York, Viking-Penguin.
- European Science and Environment Forum [ESEF]. 1996. *The Global Warming Debate*. The Report of the European Science and Environment Forum, London, European Science and Environment Forum.
- Hsü, Kenneth J. 1998. "Je pense que je suis un génie" (interview), *Bilan. Le magazine économique suisse*, 1, p.44-47.

- Idso, Sherwood B. 1982. *Carbon Dioxide : Friend or Foe?*, Tempe, Arizona, Institute for Biospheric Research Press.
- 1989. *Carbon Dioxide and Global Change : Earth in Transition*, Tempe, Arizona, Institute for Biospheric Research Press.
 - 1995. *CO2 and the Biosphere : The Incredible Legacy of the Industrial Revolution*, Third Annual Kuehnast Lecture, 12 October 1995, St. Paul, MN, University of Minnesota, Department of Soil, Water and Climate, Special Publication.
- Lenoir, Yves. 1992a. *La vérité sur l'effet de serre. Le dossier d'une manipulation planétaire*, Paris, La Découverte.
- 1992b. "L'effet de serre remis en question", *Sciences et Avenir*, (décembre) 550, p.18-24.
- Leroux, Marcel. 1999. "Le «global warming» : une imposture scientifique", in P. Hollmuller, B. Lachal, F. Romerio et W. Weber, eds., *Quels systèmes énergétiques pour le XXIe siècle? Production*, Genève, Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, p.295-305.
- Lindzen, Richard S. 1992. *The Origin and Nature of Alleged Scientific Consensus*, Proceedings of the OPEC Seminar on the Environment, Vienna, Austria, 13-15 avril.
- 1994. "On the scientific basis for global warming scenarios", *Environmental Pollution*, 83, p.125-134.
 - 1997. "Can increasing carbon dioxide cause climate change?", *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 94, p.8335-8342.
- Marshall Institute. 1989. *Scientific Perspectives on the Greenhouse Problem*, (Robert Jastrow, William Nierenberg et Frederick Seitz), Washington, D.C., The George C. Marshall Institute.
- 1992. *Global Warming Update : Recent Scientific Findings*, Washington, D.C., The George C. Marshall Institute.
 - 1994. *Global Warming and Ozone Hole Controversies : A Challenge to Scientific Judgment* (F. Seitz, ed.), Washington, D.C., The George C. Marshall Institute.
 - 1995. *The Global Warming Experiment*, Washington, D.C., The George C. Marshall Institute.
- Michaels, Patrick J. 1992. *Sound and Fury : The Science and Politics of Global Warming*, Washington, D.C., Cato Institute.
- Moore, Thomas Gale. 1998. *Climate of Fear : Why We Shouldn't Worry about Global Warming*, Washington, D.C., Cato Institute.
- Nierenberg, William. 1993. "Science, policy and international affairs : how wrong the great can be", *Environmental Conservation*, 20, p.195-197.
- Parsons, Michael L. 1995. *Global Warming : The Truth behind the Myth*, New York, Insight Books, 271p.
- Simon, Julian L. 1996. *The Ultimate Resource 2*, Princeton, Princeton University Press. (1ère éd.: 1981)
- Singer, S. Fred. 1997. *Hot Talk, Cold Science : Global Warming's Unfinished Debate*, Foreword by Frederick Seitz, Oakland, Calif., The Independent Institute.

ANNEXE : DOCUMENTS OFFICIELS

I. USA

I.1. President's Scientific Advisory Committee (Washington)

- 1965. "Atmospheric carbon dioxide : carbon dioxide from fossil fuels - the invisible pollutant" (R. Revelle, W. Broecker, H. Craig, C. Keeling et J. Smagorinsky), in *Restoring the Quality of Our Environment*, Report of the Environmental Pollution Panel, p.111-133.

I.2. National Academy of Sciences / National Research Council (Washington)

- 1975. *Understanding Climatic Change : A Program For Action*.
- 1977. *Energy and Climate*, Geophysics Study Committee.
- 1979. *Carbon Dioxide and Climate : A Scientific Assessment*.
- 1980. *The Atmospheric Sciences : National Objectives for the 1980's*.
- 1981. *Atmosphere-Biosphere Interactions : Toward a Better Understanding of the Ecological Consequences of Fossil Fuel Combustion*.
- 1982. *Carbon Dioxide and Climate : A Second Assessment*.
- 1983a. *Changing Climate. Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee*.

- 1983b. *Toward an International Geosphere-Biosphere Program. A Study of Global Change*, Report of a NRC Workshop, Woods Hole.
- 1984. *Global Tropospheric Chemistry : A Plan for Action*.
- 1986a. *Remote Sensing of the Biosphere*, Committee on Planetary Biology.
- 1986b. *Global Change in the Geosphere-Biosphere. Initial Priorities for an IGBP*.
- 1987. *Current Issues in Atmospheric Change*.
- 1988. *Toward an Understanding of Global Change. Initial Priorities for U.S. Contribution to the International Geosphere-Biosphere Program*
- 1989a. *Ozone Depletion, Greenhouse Gases, and Climate Change*.
- 1989b. *Global Change and Our Common Future*, Forum, Washington, D.C., May 2-4, 1989, Committee on Global Change.
- 1990a. *Sea-Level Change*. (Geophysics Study Committee).
- 1990b. *Confronting Climate Change : Strategies for Energy Research and Development*
- 1990c. *One Earth, One Future : Our Changing Global Environment*. (trad. fr.: *Une planète, un avenir*, préface de J. Grinevald, Paris, Sang de la terre, 1992)
- 1991. *Policy Implications of Greenhouse Warming - Synthesis Panel Report*.
- 1992. *Global Environmental Change : Understanding the Human Dimensions*
- 1994. *Science Priorities for the Human Dimensions of Global Change*
- 1996. *Linking Science and Technology to Society's Environmental Goals*.
- 1999. *Global Environmental Change : Research Pathways for the Next Decade*.
- I.3. Council on Environmental Quality
 - 1981. *Global Energy Futures and the Carbon Dioxide Problem*
 - 1980. *The Global 2000 Report to the President*. (G.O. Barney, dir.)
- I.4. U.S. Environmental Protection Agency (EPA)
 - 1983. *Can We Delay a Greenhouse Warming?* (S. Seidel et D. Keyes)
 - 1986. *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate* (J.G. Titus, ed.).
 - 1989a. *The Potential Effects on Global Climate Change on the United States*, (J.B. Smith et D. Tirpak, eds.), Report to the Congress.
 - 1989b. *Policy Options for Stabilizing Global Climate*, (D. Lashof et D. Tirpak, eds.) Report to Congress, 3 vols.
- I.5. U.S. Atomic Energy Commission (AEC)
 - 1973. *Carbon and the Biosphere*, (Grove M. Woodwell et Erene V. Pecan, eds.) CONF-720610.
- I.6. U.S. Department of Energy (DOE)
 - 1979. *Carbon Dioxide Effects, Research and Assessment Program : Workshop on the Global Effects of Carbon Dioxide from Fossil Fuels*, DOE CONF-770385.
 - 1980-2. *Carbon Dioxide Effects, Research and Assessment Program : Workshop on Environmental and Societal Consequences of a Possible CO₂-induced Climate Change: A Research Agenda*, 2 vols., DOE/EV/10019-1 et 10019-2.
 - 1983a. *An Analysis of Concept for Controlling Atmospheric Carbon Dioxide*, DOE/CH/00016-1.
 - 1983. *Carbon Dioxide, Science and Consensus. Proceedings of the Carbon Dioxide Research Conference*, Institute for Energy Analysis, DOE-CONF-820970, 2 vols.
 - 1984. *Atmospheric CO₂ Concentration, Mauna Loa Observatory, Hawaii, 1958-1983*, U.S. DOE Report No. NDP-001.
 - 1985a. *Detecting the Climatic Effects of Increasing Carbon Dioxide*, DOE/ER-0235.
 - 1985b. *Characterisation of Information Requirements for Studies of CO₂ Effects*, DOE/ER-0236.
 - 1985c. *The Potential Climatic Effects of Increasing Carbon Dioxide*, DOE/ER-0237.
 - 1985d. *Direct Effects of Increasing Carbon Dioxide on Vegetation*, DOE/ER-0238.
 - 1985e. *Atmospheric Carbon Dioxide and the Global Carbon Cycle*, DOE/ER-0239.
- I.7. NASA (National Aeronautics and Space Administration)
 - 1988a. *Present State of Knowledge of the Upper Atmosphere 1988 : An Assessment Report*, NASA Reference Publication No. 1208.
 - 1988b. *Earth System Science. A Closer View : A Program for Global Change*, Earth System Science Committee, NASA Advisory Council.
- I.8. U.S. Congress

- 1981. *Carbon Dioxide and Climate : The Greenhouse Effect*, Committee on Science and Technology, U.S. House of Representatives, July 31.
- 1984. *Carbon Dioxide and the Greenhouse Effect*, U.S. House of Representatives Hearings, February 28.
- 1988. *Global Climate Changes : Greenhouse Effect*. Hearing before the U.S. House of Representatives Subcommittee on Human Rights and International Organizations of the Committee on Foreign Affairs, March 10.
- 1991. *Changing by Degrees : Steps to Reduce Greenhouse Gases*, Office of Technology Assessment, OTA-O-482.
- 1993. *Preparing for an Uncertain Climate*, Office of Technology Assessment, OTA-O-563.

I.9. U.S. Senate

- 1986. *Global Warming*. Hearing before the U.S. Senate Subcommittee on Toxic Substance and Environmental Oversight of the Committee on Environment and Public Works, December 10, 1985.
- 1987. *The Greenhouse Effect and Global Climate Change*. Hearing before the U.S. Senate Committee on Energy and National Resources, Part 1, November 9-10.
- 1988. *The Greenhouse Effect and Global Climate Change*. Hearing before the U.S. Senate Committee on Energy and National Resources, Part 2, June 23.
- 1992. *Global Change Research : Global Warming and the Biosphere*, Hearing before the U.S. Senate Committee on Commerce, Science and Transportation, April 9.

II. Canada : The Royal Society of Canada / Société royale du Canada (Ottawa)

- 1988. *The Changing Atmosphere - L'Atmosphère en évolution*, Conférence de Toronto, 27-30 juin, (Howard Ferguson, ed.), Environment Canada. (aussi OMM 1988)
- 1990. *Planet under Stress : The Challenge of Global Change*, (Constance Mungall et Digby J. McLaren, eds.), Toronto, Oxford University Press. (trad. fr.: *La Terre en péril : métamorphose d'une planète*, Ottawa, Les Presses de l'Université d'Ottawa, 1990)

III. Inde : Indian Academy of Sciences (New Delhi)

- 1993. *Climate and Global Warming*, Proceedings of the Indian Academy of Sciences, Earth and Planetary Sciences, special issue, 102(1).
- 1989. *The International Conference on Global Warming and Climate Change : Perspectives from Developing Countries*, Proceedings, New Delhi, February 21-23, 1989 (S. Gupta et R. Pachauri, eds.), New Delhi, Tata Energy Research Institute.

IV. Grande-Bretagne (London)

- 1989a. *Climate Change ; Meeting the Challenge, a report by a Commonwealth Group of Experts*, London, Commonwealth Secretariat.
- 1989b. *The Greenhouse Effect : The Scientific Basis for Policy*, The Royal Society of London.

V. France (Paris)

- 1990a. Groupe interministériel sur l'effet de serre, *Rapport sur l'effet de serre*, (Yves Martin, ed.), Paris, Ministère délégué à l'Environnement et à la Prévention des risques technologiques et naturels majeurs.
- 1990b. *L'effet de serre et ses conséquences climatiques : évaluation scientifique*, Rapport no 25, Académie des Sciences.
- 1991. "L'effet de serre", *La Vie des sciences*, Comptes rendus de l'Académie des sciences, série générale, t. 8, no. 2.
- 1994. *L'effet de serre*, Rapport no 31, Académie des Sciences.

VI. Allemagne : Deutscher Bundestag (Bonn)

- 1988. *Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre*, Bericht der Enquete-Kommission, Bonn, Referat für Öffentlichkeitsarbeit des Deutschen Bundestages.

VII. The European Community (Bruxelles)

- 1988a. Commission of the European Community, *The Greenhouse Effect and the Community : Commission Work Programme Concerning the Evaluation of Policy Options to Deal with the Greenhouse Effect*. Communication from the CEC to the Council, COM(88), 656, 16 Novembre.
- 1988b. The Main Findings of the Commission's Review of Member States Energy Policies : The 1995 Community Energy Objectives, Communication from the CEC to the Council, COM(88) 174, 3 mai.
- 1990. *The Greenhouse Effect and its Implications for the European Community*, (R.A. Warrick, E.M. Barrow et T.M.L. Wigley), Directorate-General : Science, Research and Development, Report EUR 12707 EN.

VIII. Suisse : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP)

- 1994. *Le réchauffement planétaire et la Suisse : bases d'une stratégie nationale*, Rapport de travail interdépartemental sur l'évolution du système climatique, Berne, OFEFP.

IX. OCDE / AIE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques / Agence Internationale de l'Energie) (Paris)

- 1989. *Energy Technologies for Reducing Emissions of Greenhouse Gases*, Proceedings of an Experts' Seminar, International Energy Agency, OCDE, Paris, 12-14 avril 1989, 2 vols.
- 1991a. *Les émissions de gaz à effet de serre - le rôle de l'énergie*, AIE/OCDE.
- 1991b. *L'utilisation rationnelle de l'énergie et l'environnement*.
- 1991c. *Parer au changement climatique : quelques problèmes économiques*.
- 1991d. *Le changement climatique - à l'évaluation des retombées socio-économiques*.
- 1992a. *Convention sur le changement climatique : aspects économiques des négociations*.
- 1992b. *Réchauffement planétaire. Les avantages de la réduction des émissions*.
- 1992c. *Le changement climatique : concevoir un système de permis négociables*.
- 1992d. *Le changement climatique : concevoir un système pratique de taxe*.
- 1993a. *Les coûts économiques de la réduction des émissions de CO₂*.
- 1993b. *Les changements climatiques : initiatives des gouvernements*, AIE/OCDE.
- 1993c. *Taxer l'énergie : comment et pourquoi*, AIE/OCDE.
- 1993d. *Les instruments économiques internationaux et le changement climatique*.
- 1994a. *Les aspects économiques du changement climatique*, AIE/OCDE.
- 1994b. *Le changement global de la planète Terre. Le Forum Mégascience*.
- 1995. *Réchauffement planétaire : Dimensions économiques et réponses des pouvoirs publics*.

X. OMM (Organisation Météorologique Mondiale, Genève)

- 1974. *A brief survey of meteorology as related to the biosphere*, [C.C. Wallén], Special Environmental Report no 4, WMO-No 372.
- 1975. *The Physical Basis of Climate and Climatic Modelling*, GARP Publication Series no.16. [Global Atmospheric Research Program]
- 1976. "WMO Statement on Climatic Change", *WMO Bulletin*, 25(3), p.211-212.
- 1977a. *Report of the Scientific Workshop on Atmospheric Carbon Dioxide*, WMO-No.474.
- 1977b. "Technical Report by the WMO Executive Committee Panel of Experts on Climatic Change", *WMO Bulletin*, 26(1), p.50-55.
- 1977c. *Effects of Human Activities on Global Climate* (William W. Kellogg), WMO Technical Note No. 156, WMO-No. 486.
- 1977-78. "Influence des activités de l'homme sur le climat du globe, I, II" (William W. Kellogg), *Bulletin de l'OMM*, 26(4), p.255-268; 27(1), p.3-11.
- 1979. *Proceedings of the World Climate Conference. A Conference of Experts on Climate and Mankind*, Genève, 12-23 February 1979, WMO-No.537.
- 1980a. *Climatic Changes and Their Effects on the Biosphere*, [Bert Bolin], WMO-No.942.
- 1980b. *Outline Plan and Basis for the World Climate Programme 1980-1983*, WMO-No. 540.
- 1982. *Detection of Possible Climate Change*, Report of the JSC/CAS Meeting of Experts, World Climate Programme Report no. 29.

- 1983. *Report of the WMO (CAS) meeting of experts on the CO₂ concentration from pre-industrial times to the I.G.Y.*, WMO World Climate Program, Publication WCP-53.
- 1985. *Atmospheric Ozone 1985*, Global Ozone Research and Monitoring Project Report no. 16.
- 1990a. *Global Climate Change*. A scientific review presented by the World Climate Research Programme.
- 1990b. *L'atmosphère de la Terre, planète vivante* [James Bruce], OMM-No. 735.
- 1990c. *L'OMM et le Réchauffement mondial*, OMM-No. 741.
- 1994. *WMO Statement on the Status of the Global Climate in 1993*, WMO-No. 809.
- 1998. *WMO Statement on the Status of the Global Climate in 1998*, WMO-No. 896.

XI. PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Nairobi)

- 1987a. *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*, (Montréal).
- 1987b. *The Greenhouse Gases*, UNEP/GEMS Environment Library No 1.
- 1987c. *The Ozone Layer*, UNEP/GEMS Environment Library No 2.
- 1995. *Global Biodiversity Assessment*, Cambridge, Cambridge University Press.

XII. OMM et PNUE

- 1981a. *On the Assessment of the Role of CO₂ on Climate Variations and their Impact*, Report of a Joint WMO/ICSU/UNEP Meeting of Experts, Villach, Austria, November 1980, World Climate Programme.
- 1981b. *Analysis and Interpretation of Atmospheric CO₂ Data*, papers presented at the WMO/ICSU/UNEP scientific conference, Bern, September 14-18, World Climate Programme Report no. 14.
- 1986. *Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts*, [ICSU-UNEP-WMO, Villach, Austria, 9-15 October 1985], WMO-no.661.
- 1988a. *Developing Policies for Responding to Climatic Change*, (Jill Jäger), Stockholm, Royal Swedish Academy of Sciences, The Beijer Institute; OMM-PNUE, WCIP-1, WMO/TD-no.225.
- 1988b. *The Changing Atmosphere : Implications for Global Security - L'Atmosphère en évolution : Implications pour la sécurité du globe*, (Actes de la Conférence, Toronto, Canada, 27-30 juin 1988), OMM-Environment Canada-PNUE; WMO-No. 710.

XIII. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) / GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (OMM-PNUE)

- 1990a. *Climate Change : The IPCC Scientific Assessment*, Working Group I, Cambridge, Cambridge University Press, 364p. (trad. fr.: *Aspects scientifiques du changement climatique*, GIEC)
- 1990b. *Climate Change : The IPCC Impacts Assessment*, Working Group II, Canberra, Australian Government Publishing Service, (trad. fr.: *Incidences potentielles du changement climatique*, GIEC)
- 1990c. *Climate Change : The IPCC Response Strategies*, Working Group III, Washington, D.C., Island Press, 1991. (trad. fr.: *Stratégies d'adaptation au changement climatique*, GIEC)
- 1990d. *Scientific Assessment of Climate Change : The Policymakers' Summary*.
- 1992. *Climate Change 1992 : The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Working Group I, Cambridge, Cambridge University Press. (trad. fr.: *Changement climatique : Les évaluations du GIEC de 1990 et 1992*, GIEC)
- 1995a. *Climate Change 1994. Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emissions Scenarios*, Cambridge, Cambridge University Press.
- 1995b. *Radiative Forcing of Climate Change*. The 1994 Report of the Scientific Assessment Working Group of IPCC, Summary for Policymakers.
- 1996a. *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. The Second Assessment Report, Working Group I, Cambridge, Cambridge University Press, 572p.
- 1996b. *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change : Scientific-Technical Analysis*. The Second Assessment Report of the IPCC, Working Group II, Cambridge, Cambridge University Press, 878p.

- 1996c. *Climate Change 1995 : Economic and Social Dimensions of Climate Change*, The Second Assessment of the IPCC, Working Group III, Cambridge, Cambridge University Press. (trad. fr.: *Le Changement climatique. Dimensions économiques et sociales*, Paris, Dossiers et débats pour le développement durable 4D, La Documentation française, 1997, 546p.)
- 1996. IPCC Second Assessment Climate Change 1995. A Report of the IPCC, 64p. (trad. fr.: *Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC : Changements climatiques 1995*, 64p.)
- 1996d. *Techniques, politiques et mesures d'atténuation des changements climatiques*, Document technique I, 93p.
- 1997a. *Introduction aux modèles climatiques simples employés dans le deuxième rapport d'évaluation du GIEC*, Document technique II, 49p.
- 1997b. *Stabilisation des gaz atmosphériques à effet de serre : conséquences physiques, biologiques et socio-économiques*, Document technique III, 53p.
- 1998. *The Regional Impacts of Climate Change : An Assessment of Vulnerability*, A special report of IPCC Working Group II, Cambridge, Cambridge University Press.

XIV. WMO, UNEP, UNESCO, IOC, FAO, ICSU

- 1991. *Climate Change : Science, Impacts and Policy. Proceedings of the Second World Climate Conference*, edited by J. Jäger and H.L. Ferguson, Cambridge, Cambridge University Press.

XV. OMS (Organisation Mondiale de la Santé, Genève)

- 1990. *Potential Health Effects of Climatic Change* Report of a WHO Task Group.
- 1996. *Climat Change and Human Health ; An assessment prepared by a Task Group on behalf of the WHO, WMO and UNEP.*

XVI. UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) (New York)

- 1992. *Combating Global Warming : Study on a global system of tradeable carbon emission entitlements*, UNCTAD/RDP/DFP/1.
- 1994. *Combating Global Warming : Possible rules, regulations and administrative arrangements for a global market in CO2 emission entitlements*, UNCTAD/GID/8.

XVI. ICSU (International Council of Scientific Unions) / SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment) (Paris)

- 1979. SCOPE 13 (B. Bolin et al. eds.), *The Global Carbon Cycle*
- 1981. SCOPE 16 (B. Bolin, ed.), *Carbon Cycle Modelling*
- 1983. SCOPE 21 (B. Bolin et Robert Cook, eds.), *The Major Biogeochemical Cycles and Their Interactions*
- 1985. SCOPE 27 (R.W. Kates, J.H. Ausubel et M. Berberian, eds.), *Climate Impact Assessment. Studies of the Interaction of Climate and Society* .
- 1986a. *Global Change*, (T.F. Malone and J.G. Roederer, eds.), ICSU Symposium, 20th General Assembly, Ottawa, September 25, 1984, Cambridge, Cambridge University Press.
- 1986b. SCOPE 29 (B. Bolin et al., eds.), *The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems*
- 1986c. *The International Geosphere Biosphere Programme : A Study of Global Change*, final report prepared for the 21st General Assembly, Berne, September 14-19, 1986. (B. Bolin et al.)
- 1988. *The International Geosphere-Biosphere Programme : A Study of Global Change. A Plan for Action*, Report No.4.
- 1990. *The International Geosphere-Biosphere Programme : A Study of Global Change : The Initial Core Projects*, IGBP Report no 12.
- 1992. *Global Change : Reducing Uncertainties*, IGBP Secretariat, Royal Swedisch Academy of Sciences, Stockholm, Sweden.