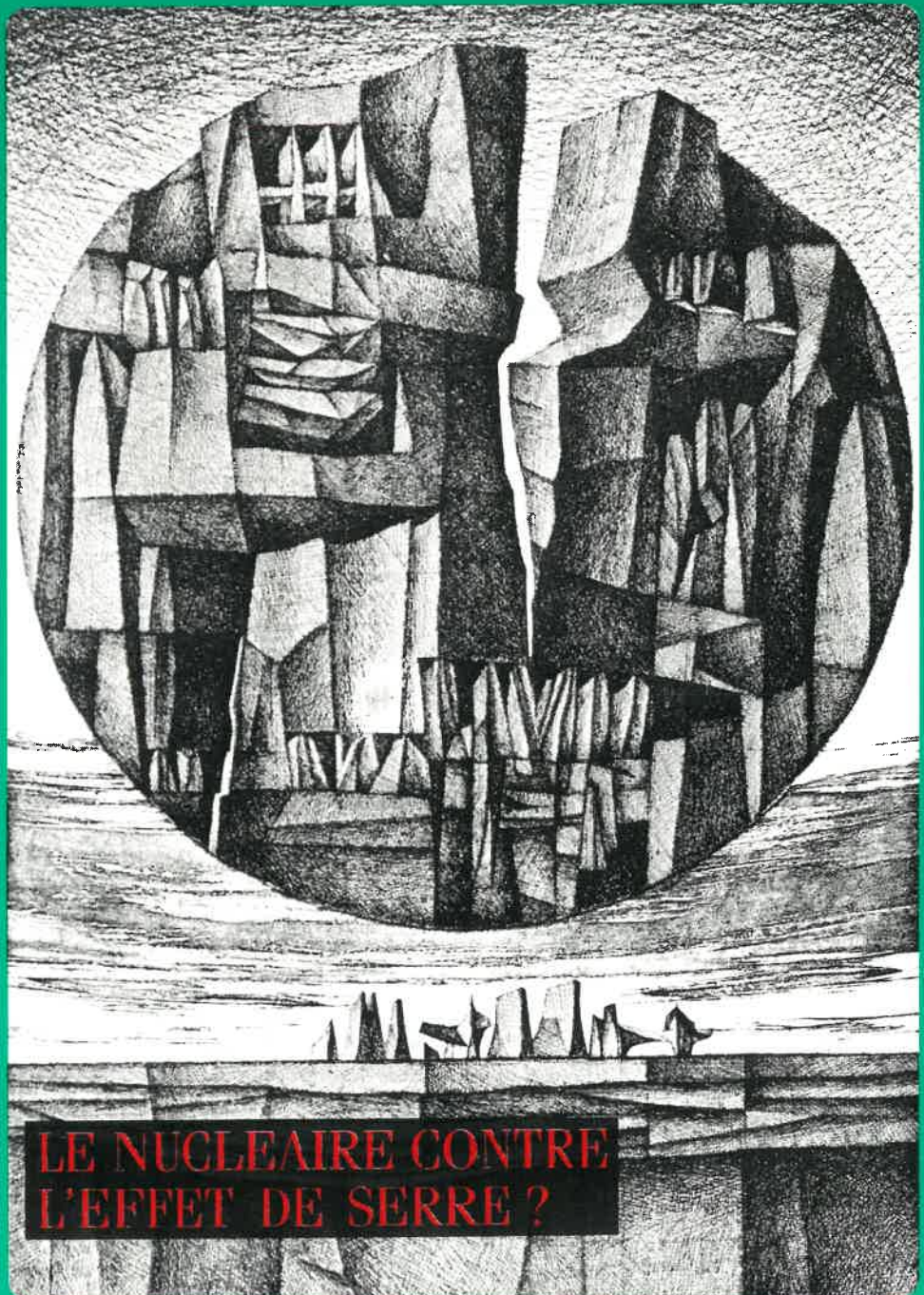


STRATEGIES ENERGETIQUES BIOSPHERE & SOCIETE

FORUM INTERDISCIPLINAIRE INDEPENDANT



GAZETTE
DE L'APAG

ORGANE
DE L'ASSOCIATION
POUR L'APPEL
DE GENEVE

Mai 1990

Co-présidents:

Charles ENZ, professeur de physique théorique à la Faculté des sciences de l'Université de Genève;

Joel JAKUBEC, pasteur de l'Eglise nationale protestante de Genève;

Rédacteur responsable:

Ivo RENS, professeur d'histoire à la Faculté de droit de l'Université de Genève;

Membres du Bureau:

Lucien BOREL, thermodynamicien, professeur honoraire de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne; Michel BRELAZ, docteur ès sciences économiques et sociales de l'Université de Genève; François BURNIER, docteur en médecine de l'Université de Bâle; Marcel BURRI, géologue, professeur honoraire de l'Université de Lausanne; Olivier DELAFONTAINE, naturaliste; Irène GAUTIER, égyptologue; Hansjörg HUGGEL, professeur de biologie de l'Université de Genève; Pierre LEHMANN, ingénieur physicien; René LONGET, directeur romand de la Société pour la protection de l'environnement; Luce PECLARD écrivain; Alain PERROT, pasteur de l'Eglise nationale protestante de Genève; Philippe PESTALOZZI, politologue; Gilles PETIT-PIERRE, professeur à la Faculté de droit de l'Université de Genève; Jean ROSSEL, physicien, professeur honoraire de l'Université de Neuchâtel; Irmgard SALVADORI, laborantine chimiste; René STRUB, ingénieur mécanicien.

**Réalisation graphique
et impression:**

Médecine et Hygiène
Genève-Suisse

STRATÉGIES ÉNERGÉTIQUES, BIOSPHERE & SOCIÉTÉ

Forum interdisciplinaire indépendant

Comité de rédaction provisoire

François Burnier

Médecin, Docteur en médecine de l'Université de Bâle

Charles Enz

Professeur de physique théorique à la Faculté des sciences de l'Université de Genève

Joel Jakubec

Théologien, pasteur de l'Eglise nationale protestante de Genève

Philippe Lebreton

Professeur au Département de biologie végétale de l'Université Claude Bernard de Lyon 1

Ivo Rens

Professeur d'histoire à la Faculté de droit de l'Université de Genève

Les auteurs désirant proposer des articles au Comité de rédaction sont priés de les adresser au Professeur Ivo Rens, Rédacteur responsable de STRATÉGIES ÉNERGÉTIQUES, BIOSPHERE & SOCIÉTÉ, *Forum interdisciplinaire indépendant*, c/o Département d'histoire du droit et des doctrines juridiques et politiques, Faculté de droit de l'Université de Genève, 5 rue Saint-Ours, CH-1211 Genève 4.

Le Comité de rédaction ne peut toutefois garantir le renvoi à leurs expéditeurs des articles qui ne seraient pas publiés.

Copyright by
STRATÉGIES ÉNERGÉTIQUES, BIOSPHÈRE & SOCIÉTÉ,
Forum interdisciplinaire indépendant,
Genève, 1990

La reproduction partielle de toute étude ou article paru(e) dans STRATÉGIES ÉNERGÉTIQUES, BIOSPHÈRE & SOCIÉTÉ est permise moyennant toutefois une indication précise et complète de la source selon les usages académiques ainsi que l'envoi d'un justificatif au Rédacteur responsable. La reproduction totale de toute étude ou article doit faire l'objet d'une autorisation préalable du Rédacteur responsable.

Sommaire

N° 1 — Mai 1990

Editorial..... 5

Dossier scientifique: Le nucléaire contre l'effet de serre?

Gare à l'effet de serre: une catastrophe peut en masquer une autre! par Ivo Rens.....	7
L'effet de serre de la Biosphère. De la révolution thermo-industrielle à l'écologie globale par Jacques Grinevald	9
La contribution du gaz carbonique au changement climatique par René Strub	35
Le nucléaire est-il une réponse à l'effet de serre? par Y.-L. Boullis.....	41

Gazette de L'APAG

Réflexions sur le Rapport Tanguy concernant la sûreté nucléaire à EDF par CharlesENZ.....	47
Le Conseil national et la drogue nucléaire par Ivo Rens.....	49
De l'utilité des pétitions. Petite histoire d'un Grand Conseil par Michel Brélaz	50
Les secrets du dimanche Par N.	50
<i>Energie-Information</i> , Exemple des méthodes de désinformation pratiquées par les milieux nucléocratiques du Canton de Vaud par Olivier Delafontaine	51
Premières fissures dans la désinformation de l'opinion publique française en matière de risque radiologique par Jan Masolijn	53
Les procédures judiciaires contre le redémarrage de la Centrale SuperPhénix de Creys-Malville (suite) par Ivo Rens.....	54
Suite de la correspondance Malville de Pierre Lehmann avec le Conseiller fédéral Adolphe Ogi	58
Postulat Longet priant le Conseil fédéral d'organiser un Colloque scientifique, contradictoire et public sur la sécurité des surgénérateurs	62
Lettre du professeur Ch. Enz, du pasteur J. Jakubec et du professeur I. Rens au profes- seur G. Sarlos de l'EPFL sur l'éthique de l'ingénieur»	62
<i>Le dossier Creys-Malville</i> , par Philippe Bach, préface de Guy-Olivier Segond, intro- duction de Monique Sené, Edition Slatkine, par Dierck Orinckx	63
Coordonnées de quelques périodiques francophones dispensant une information cri- tique sur l'énergie	64

Editorial

Le 2 octobre 1978 fut adopté le texte définitif de l'Appel de Genève et le 21 octobre de la même année, l'aile marchante du Comité de lancement créait l'Association pour l'Appel de Genève (APAG) qui décida d'emblée de traduire le texte de l'Appel dans les deux autres langues officielles de la Suisse, ainsi qu'en anglais et en espagnol afin de susciter une récolte de signature à l'échelle de l'Europe.⁽¹⁾ Dans le Comité de lancement figuraient les noms de plusieurs personnalités — professeurs, physiciens, théologiens, médecins, juristes, députés — dont celui de feu Denis de Rougemont. Le manifeste fut envoyé à tous les parlements d'Europe, à l'Est comme à l'Ouest.

Si l'Appel de Genève s'élevait contre la construction du surrégénérateur Superphénix de Creys-Malville non loin de notre frontière pour des raisons évidentes de santé publique en cas d'accident, il voulait également protester contre les conséquences quasi inévitables d'une telle option énergétique, à savoir la mise en place d'une société policière rendue nécessaire pour des raisons de sécurité, et la concentration irréversible d'un énorme pouvoir en quelques mains. Cette Société du plutonium est incompatible avec les valeurs dont se réclament encore nos démocraties pluralistes.⁽²⁾

Quand donc au premier trimestre 1988 parut le premier numéro de la Gazette de l'APAG, ce n'était que l'aboutissement public d'un long effort d'éveil des consciences aux divers dangers liés à la surrégénération du plutonium. Il était surtout le support nécessaire au lancement d'une Souscription publique en vue d'une expertise de la sûreté du surrégénérateur de Creys-Malville, indépendante des pouvoirs politiques et des intérêts financiers. Souscription qui aboutit, comme chacun sait, et l'expertise fut confiée aux professeurs Jochen Benecke et Michael Reimann (RFA). Enfin, la Gazette de l'APAG fut deux années durant le canal utile pour informer nos lecteurs des actions (entre autres juridiques) s'inscrivant dans la lutte contre la remise en marche du Superphénix à la suite de ses nombreuses avaries. Cette tâche, nous entendons la poursuivre.

Cependant nos lecteurs savent que Creys-Malville n'est que le révélateur d'un problème autrement plus vaste. Aujourd'hui les défenseurs de l'option énergétique nucléaire veulent faire accroire qu'elle est la panacée au redoutable accroissement de l'effet de serre (c'est le sujet du dossier scientifique du présent numéro). A l'ère industrielle, toute politique

énergétique est solidaire d'un choix de société. D'où la nécessaire globalité des perspectives de notre nouvelle revue que soulignent les deux premiers mots de son titre: Stratégies Énergétiques.

Par ailleurs en usant du terme de Biosphère nous voulons d'emblée nous situer dans une grande tradition historique et scientifique. Dans une tradition historique, car si ce vocable peut sembler aujourd'hui à la mode et de création récente, il est bon de rappeler qu'il apparaît dans la littérature scientifique sous la plume d'Eduard Suess (1831-1914) dans un petit ouvrage intitulé *Die Entstehung der Alpen* (La Genèse des Alpes), sujet repris et développé dans son étude en deux volumes, *Das Antlitz der Erde* (La Face de la terre), publiés simultanément à Prague, Vienne et Leipzig et dans lesquels l'«ubiquité de la vie et la continuité de sa manifestation à la surface terrestre» sont mises en évidence. Par la suite, on le rencontre, avec des nuances de sens chez Vernadsky, Teilhard de Chardin, G.E. Hutchinson, N. Georgescu-Roegen et d'autres.⁽³⁾ Enfin, dans une tradition scientifique, parce que nous sommes convaincus que les sciences et les technologies modernes peuvent et doivent fournir des solutions approchées aux problèmes contemporains. Si l'Association pour l'Appel de Genève estime que le recours systématique au nucléaire est une solution de facilité à courte vue, elle n'est pas pour autant — nous l'avons déjà dit ailleurs — un club de passésistes rêveurs cultivant les souvenirs «édéniques» d'antan.

STRATÉGIES ÉNERGÉTIQUES, BIOSPHÈRE & SOCIÉTÉ succède donc à la Gazette de l'APAG. Pour nous, ces trois termes ne sont pas juxtaposés, mais liés dans une optique délibérément interdisciplinaire. Dans notre revue, pour l'instant semestrielle et plus volumineuse, nous désirons aborder les questions scientifiques en rapport avec les problèmes éthiques ou philosophiques qu'elles peuvent poser. De plus, la revue sera divisée en deux parties: l'une réservée à un thème, à une problématique ou encore à une controverse, et l'autre livrant des informations en relation avec les activités et préoccupations de l'APAG. Les articles signés n'engagent que leurs auteurs.

Genève, ce 26 avril 1990.

Charles Enz, co-président de l'APAG.

Joel Jakubec, co-président de l'APAG.

Ivo Rens, rédacteur responsable.

(1) Parmi les signataires figurent les Prix Nobel George Wald, Jan Tinbergen, Konrad Lorenz, Heinrich Böll; des écrivains tels Michel Butor, Roger Garaudy; le prince Sadruddin Aga Khan, le professeur Ernst von Weizsäcker, etc.

(2) Pour plus de détail on lira le *Livre jaune sur la société du plutonium*, *Yellow Book on the Plutonium Society* (publié sous les auspices de l'APAG), Editions de la Baconnière, Neuchâtel, 1981 (ouvrage partiellement bilingue français-anglais).

(3) Nous empruntons ces renseignements à Jacques Grinevald, «On a holistic concept for deep and global ecology: The Biosphere», *Fundamenta Scientiae*, 1987, vol. 8, N° 2, p. 197-226.

Gare à l'effet de serre: une catastrophe peut en masquer une autre!

par Ivo RENS

Dans nos sociétés de consommation, il en est des expressions rhétoriques comme des modes: tout le monde ou presque s'y conforme peu ou prou sans savoir pourquoi.

L'objet de ce dossier est de tenter de s'opposer à cette tendance déplorable de notre psyché, d'explorer la préhistoire et de baliser l'histoire de l'«effet de serre», de voir ce que recouvre ce terme dans les sciences de la terre et dans l'écologie globale d'où les média l'ont emprunté voici quelques années tout au plus non sans le parer de quelques-uns des prestiges de la fin du monde.

Disparu le temps des discrètes réunions des savants spécialisés en paléoclimatologie ou en physique de l'atmosphère! Voici que des hordes de journalistes guettent les conférences internationales consacrées au prochain changement climatique global, voici que les journaux leur consacrent des articles, parfois bien documentés d'ailleurs, mais dont les conclusions sont comme prédéterminées par leurs convictions quant aux solutions de rechange dont pourrait dépendre le salut du monde. Effet de serre... que de bêtises n'a-t-on pas proférées en ton nom?

S'agit-il véritablement d'un des fléaux de l'Apocalypse comme tendraient à le faire croire ceux qui conjecturent qu'il risque de provoquer un réchauffement global de la planète Terre entraînant notamment la fonte des calottes polaires, la dilatation de l'eau des océans, la hausse du niveau de ces derniers, l'inondation de beaucoup de grandes villes, la disparition de plusieurs pays et un désastre démographique peut-être sans précédent pour l'espèce humaine?

Ou bien s'agit-il, comme d'autres le prétendent, d'un phénomène naturel propre à la Biosphère, dont seule la déstabilisation menacerait de déséquilibrer le climat de notre planète, mais dont la disparition entraînerait à coup sûr la disparition de l'espèce humaine et celle de plusieurs autres, voire celle de la vie sur notre Terre?

Poser ainsi la question, c'est déjà y répondre plus qu'à moitié car, pour quiconque réfléchit tant soit peu, il apparaît évident que c'est bien la déstabilisation et plus précisément l'accroissement de l'effet de serre qui fait planer sur notre monde quelques-uns des désastres que nous venons d'énumérer et peut-être encore plusieurs autres.

Peut-être convient-il de relever d'emblée combien captieux est le raccourci journalistique des prétendues «menaces de l'effet de serre». Car, à supposer que ce dernier soit une condition du maintien de la vie sur la planète mais que son accroissement menace cette même vie, fût-ce certaines de ses manifestations dans les sociétés humaines, il importerait de bien distinguer les causes de l'effet de serre des causes de son accroissement. Car *a priori* rien ne prouve qu'elles soient les mêmes.

Mais, sait-on même s'il y a véritablement accroissement de l'effet de serre à l'échelle de la planète et si les spécialistes ne sont pas victimes de l'une de ces illusions tenaces qui portent les

humains à extrapoler les résultats d'observations partielles trop limitées dans l'espace et dans le temps pour autoriser des généralisations et plus encore des conjectures sur l'avenir?

Et dans l'hypothèse où les causes de l'accroissement de l'effet de serre à l'échelle de la planète pourraient être identifiées et où leurs valeurs respectives pourraient être mesurées d'une façon suffisamment approchée pour autoriser de telles généralisations, comment ne pas accepter de sacrifier quelques-uns de nos préjugés à la mise en place des fondements d'une société enfin respectueuse des subtils équilibres naturels?

Soyons résolument sommaire: s'il était démontré que l'accroissement de l'effet de serre était dû pour l'essentiel au dégagement de CO₂ provoqué par la combustion du charbon et des hydrocarbures, les défenseurs de l'environnement ne devraient-ils pas être les premiers à préconiser la conversion aussi rapide et totale que possible de notre civilisation industrielle aux énergies issues de la fission nucléaire en attendant celles issues de la fusion thermo-nucléaire que d'aucuns nous présentent comme la nouvelle Terre promise?

*

Qu'il soit permis au signataire de ces lignes de ne pas trancher, fût-ce pour ne pas déflorer le sujet et ne pas ôter le suspense que ne manqueront pas de vivre ceux qui voudront bien lire les trois études qui suivent mais dont nous voudrions seulement signaler les très profondes convergences. Ces dernières sont d'autant plus remarquables que leurs auteurs ont reçu des formations intellectuelles fort différentes, qu'ils ont travaillé séparément, quoiqu'en pratiquant peu ou prou l'interdisciplinarité qui s'impose pour qui veut s'efforcer d'embrasser une problématique de cette ampleur et de cette infinie complexité, qu'ils ne relèvent pas d'une même allégeance doctrinale ou idéologique et qu'ils ne se connaissent pas entre eux.

Présentons-les brièvement:

Français de Genève, Jacques Grinevald, né en 1946, a une double formation de philosophe et de politologue. Chargé de cours à l'Institut universitaire d'études du développement, à l'Université de Genève (Département de science politique) et à l'Ecole polytechnique de Lausanne (Programme Homme-Technique-Environnement), il est l'auteur de nombreux travaux historico-philosophiques en relation notamment avec le thème «Energie et civilisation» et prépare depuis plusieurs années un ouvrage sur le concept de Biosphère et l'essor de l'écologie globale.

Suisse romand habitant en Suisse alémanique, où il a fait sa carrière, René Strub est né à Cernier dans le Canton de Neuchâtel en 1916. Ingénieur mécanicien issu de l'Ecole polytechnique de Lausanne, qui lui a décerné un Doctorat honoris causa, il a exercé ses activités professionnelles principalement dans le domaine des turbomachines thermiques et hydrauliques. Délégué à la cons-

truction dans les années 1953 à 1957 du premier réacteur nucléaire suisse, Diorit, qui utilisait l'eau lourde comme modérateur, il a ensuite travaillé aux circulateurs de CO₂ des centrales françaises de Chinon I, de Saint-Laurent I et II et à la centrale espagnole de Vandellós, puis en Afrique du sud sur des compresseurs pour enrichissement de l'uranium. M. Strub est le seul de nos trois auteurs à appartenir au Bureau de l'APAG.

Français habitant Pau, dans les Pyrénées-Atlantiques, Yves-Luc Boullis est né en 1948. Titulaire d'une Maîtrise de physique et d'un Doctorat en physique de l'atmosphère obtenus tous deux à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse, il travaille actuellement dans le domaine de l'informatique. Contrairement aux deux auteurs précédents, M. Boullis est politiquement engagé puisqu'il est membre fondateur du Parti écologiste français des Verts.

*

Sans vouloir anticiper les conclusions des trois études qui suivent, qu'il nous soit permis d'émettre quelques considérations sur le type de discours que profèrent tant les partisans que les adversaires de la thèse selon laquelle l'électronucléaire nous offrirait une solution de rechange aux désastres que nous promet l'accroissement de l'effet de serre.

Tout au début de notre présentation, nous avons rapporté quelques-uns des désastres que nous annoncent les tenants de cette thèse que nous qualifierons, par facilité, de «nucléocratie». Selon eux, faute d'opérer à temps sa reconversion dans l'électronucléaire, notre civilisation serait vouée à la catastrophe. Autrement dit, le discours récent de nombreux nucléocrates suivant d'ailleurs un modèle que leur avait proposé, voici plusieurs années déjà, l'Agence atomique internationale de Vienne, relève de ce genre littéraire honni, le catastrophisme, que dans une étude parue voici quinze années déjà, Jacques Grinevald et moi avons défini comme «toute conjecture d'une ou de plusieurs radicales discontinuités à venir dans l'évolution de l'humanité aboutissant ou confinant à la disparition de cette dernière».⁽¹⁾

N'est-il pas frappant de constater que, aussi différentes soient-elles dans leurs analyses et leurs pronostics, les argumentations de nombreux adversaires de cette thèse, que par facilité également nous qualifierons d'«écologistes», ne le cèdent en rien en matière de catastrophisme aux plus sombres prévisions des nucléocrates. En effet, si certains écologistes s'efforcent encore de minimiser les menaces que nous promet l'accroissement de l'effet de serre, la plupart inclinent à en accuser la gravité et l'urgence quitte à les compléter par l'annonce de périls encore plus imminents et donc plus redoutables tels que la pollution radioactive irrévocable d'une portion plus ou moins grande de la planète, entraînant son inhabitabilité ensuite de l'occurrence d'une série de catastrophes sur le modèle de Tchernobyl. Beaucoup d'écologistes considèrent comme particulièrement catastrophiques les projets d'érection de centrales électro-nucléaires dans le Tiers Monde ainsi que la science économique dominante qui justifie par l'exigence d'une perpétuation de la croissance de tels projets. Aussi n'est-ce pas un hasard si la critique radicale des fondements de ladite science par

l'économiste et épistémologue roumano-américain Nicholas Georgescu-Roegen suscite parmi eux un intérêt croissant.⁽²⁾

Qui plus est, comme le catastrophisme des écologistes, celui des nucléocrates est incontestablement alternativiste et non point fataliste en ce sens qu'il laisse poindre une lumière d'espoir dans la mesure toutefois où l'humanité opérerait pendant qu'il est encore temps pour la solution globale dont seuls eux, bien sûr, détiennent la recette. Il y a là une consonance et une symétrie telles que nous ne pouvons raisonnablement l'attribuer au hasard. Sans doute faut-il y voir la résurgence d'une vieille peur de la mort ordonnée toutefois au paradigme nouveau de notre «seconde mort», celle de l'humanité, pour parler comme l'auteur très catastrophiste du *Destin de la Terre* qui anticipait la théorie de l'hiver nucléaire⁽³⁾.

Nous avons dit du catastrophisme qu'il était honni. Disons plutôt qu'il est encore mal porté. Pour conserver sa crédibilité politique, puisque c'est bien de politique qu'il s'agit dans tout cela, quel que soit le genre ou le registre de l'argumentation retenue, tout locuteur sérieux se doit de marquer ses distances avec le catastrophisme qu'il se garde bien, le plus souvent, de définir. «Sans sombrer dans le catastrophisme, lit-on souvent, force est de constater que jamais l'avenir de la planète n'a paru aussi menacé...» Somme toute, dans l'ordre du discours politique, il en va du catastrophisme ou de l'alarmisme comme du racisme: ce qui compte, ce n'est pas sa condamnation de principe, mais ce que l'on en admet nonobstant cette condamnation de principe.

Pour terminer, qu'il nous soit permis d'émettre une hypothèse au sujet de l'étonnante similitude existant entre le catastrophisme des nucléocrates et celui des écologistes. Dans les deux cas, les locuteurs misent sur la «terreur de l'avenir» que leurs discours respectifs ne peuvent manquer de susciter dans l'esprit des destinataires. Il s'agit donc d'une extraordinaire dramatisation du débat politique qui semble avoir encore échappé à la perspicacité de la plupart des politologues. Car, on ne le dira jamais assez, tout discours **catastrophiste** est principalement condamnation d'une politique dénoncée comme **catastrophique**, de sorte que les adjectifs «catastrophiste» et «catastrophique» sont radicalement antithétiques. Et cette dramatisation du discours politique n'emporte-t-elle pas, implicitement au moins, «dénégation d'interlocution» pour l'adversaire? Dans l'affirmative, l'une des fonctions idéologiques du catastrophisme des nucléocrates lorsqu'ils invoquent les «menaces propres à l'effet de serre» ne serait-elle pas de masquer le catastrophisme antérieur et plus radical de leurs adversaires? Et réciproquement, *mutatis mutandis*?

Comme l'écrivait en 1974 le philosophe français François Meyer en concluant un remarquable opuscule résumant ses thèses sur l'accélération évolutive: «Tandis que nous discutons, les choses vont leur train. Plaise à Dieu que cela ne soit pas un train d'enfer.»⁽⁴⁾

(1) «Réflexions sur le catastrophisme actuel», in *Pour une histoire qualitative. Etudes offertes à Sven Stelling-Michaud*, Presses universitaires romandes, Genève, 1975, p. 283.

(2) Nicholas Georgescu-Roegen, *Demain la décroissance, Entropie. Ecologie. Economie*, Editions Pierre Marcel Favre, Lausanne, 1979.

(3) Jonathan Schell, *Le destin de la Terre*, Albin Michel, Paris, 1982, original anglais, «The Fate of the Earth», Pan Books Ltd, London, 1982.

(4) François Meyer, *La surchauffe de la croissance. Essai sur la dynamique de l'Evolution*, Collection Ecologie Fayard, Paris, 1974, p. 133.

L'effet de serre de la Biosphère

De la révolution thermo-industrielle à l'écologie globale

par Jacques GRINEVALD *

I. L'AIR DU TEMPS

Certes, nous pouvons ralentir les processus déjà lancés, légiférer pour consommer moins de combustibles fossiles, replanter en masse les forêts dévastées... toutes excellentes initiatives, mais qui se ramènent, au total, à la figure du vaisseau courant à vingt-cinq nœuds vers une barre rocheuse où inmanquablement il se fracassera et sur la passerelle duquel l'officier de quart commande à la machine de réduire la vitesse d'un dixième sans changer de direction.»

Michel SERRES (1989)

«Le ciel est en train de tomber, peut-être pour de bon!» Ce n'est pas le titre d'une pièce de théâtre, mais celui d'un éditorial (24 nov. 1986) du journal de la Société américaine de chimie, introduisant un numéro sur le thème «The Changing Atmosphere» [C&EN, 1986] consacré aux problèmes scientifiques et politico-économiques des transformations actuelles de l'atmosphère: pluies acides, déplétion de la couche d'ozone stratosphérique et réchauffement global (effet de serre). Ce n'est qu'un exemple parmi beaucoup d'autres.

En octobre 1985, la conférence internationale des experts OMM-PNUE-CIUS réunie à Villach, en Autriche [OMM, 1986; Bolin et al., 1986]⁽¹⁾, déclarait qu'en raison de l'accroissement de la concentration du dioxyde de carbone et des autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il pourrait se produire, «dans la première moitié du siècle prochain, une augmentation de la température moyenne du globe dépassant tout ce que l'humanité a connu dans son histoire.» Alors qu'aucun «signal» ne semblait encore dépasser le «bruit de fond» des variations naturelles au début des années 80 [CEQ, 1981; Revelle, 1982], on prit très au sérieux, après la déclaration de Villach, l'annonce d'une augmentation d'au moins 0,5°C de la température moyenne du globe depuis le milieu du siècle dernier [Jones et al., 1986]. Au sein des Nations Unies, l'UNEP [1987] fit une certaine publicité aux risques éco-

logiques, mettant en évidence les menaces sur la couche d'ozone et l'effet de serre. Aucune preuve formelle ne permet encore de relier le récent réchauffement séculaire au renforcement de l'effet de serre par les activités humaines, mais d'éminents experts, spécialistes de la théorie de l'effet de serre [Hansen, 1988], en sont convaincus depuis quelques années.

L'affolement n'est pas bon guide, mais l'inquiétude est bien là. Elle a été parfaitement exprimée dans un article de Wallace S. Broecker [1987] intitulé «Unpleasant surprises in the greenhouse?» Faisant plutôt partie des «alarmistes» [Broecker, 1975], cet éminent géochimiste américain n'hésite pas à déclarer: «nous jouons à la roulette russe avec le climat.»

Le débat scientifique est en train de sortir des cercles spécialisés [Clark, ed., 1982; Smil, 1985] pour devenir un grand débat de société, intimement lié aux problèmes écologiques et énergétiques du développement, tant des pays industrialisés que des pays dits en voie de développement. L'année 1988 constitue sans doute un tournant historique dans cette affaire. Nous y reviendrons. Significativement, on vit l'apparition, dans la revue américaine *Oceans*, de l'expression «the greenhouse revolution» [Wolkowicz, 1988]. Depuis la conférence mondiale de Toronto sur l'atmosphère [Ferguson, ed., 1988], on assiste à une inflation de conférences internationales «pour sauver la planète». Les colloques, déclarations, rapports d'experts et livres pour le grand public se multiplient⁽²⁾. Après l'inquiétante surprise du «trou d'ozone», l'effet de serre fait, à juste titre, la une de la presse, mais au fait, connaissons-nous la signification **biosphérique** et l'émergence de ce concept dans l'histoire des sciences de la Terre et de la Vie?

Commençons par reconnaître que le problème de «l'effet de serre», et plus précisément de sa dérive anthropogénique [Grantham, 1989], est d'une redoutable ampleur et d'une réelle complexité. Essayons de comprendre le phénomène. En tant que philosophe, ma modeste contribution sera ici surtout d'ordre épistémologique. Mon propos vise avant tout à situer la description scientifique du phénomène dans son contexte historico-culturel. Le premier objectif de ces quelques pages sera donc de rappeler que l'actuelle préoccupation pour l'impact du développement économique sur l'atmosphère et le climat, et donc sur la Biosphère dans sa dimension planétaire⁽³⁾, ne tombe pas du ciel. Nous

* Chargé de cours à l'Institut universitaire d'études du développement, à l'Université de Genève (Département de science politique) et à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (Programme Homme-Technique-Environnement).

(1) La conférence scientifique conjointe Organisation Météorologique Mondiale, Programme des Nations Unies pour l'Environnement et Conseil International des Unions Scientifiques de Villach, 9-15 octobre 1985, n'était pas la première; une conférence similaire avait eu lieu en novembre 1980 et avait déjà publié une Déclaration sur «la question du gaz carbonique et du climat». La réunion de Villach 1985 a été suivie par deux autres réunions (Villach, 28 sept.-2 oct., 1987 et Bellagio, 9-13 nov. 1987) qui aboutirent au très important rapport rédigé par Madame Jill Jaeger [1988], du Beijer Institute, Stockholm, intitulé *Developing Policies for Responding to Climate Change*, avril 1988.

(2) Voir, à la fin, dans les références de notre sélection bibliographique: Abrahamson, ed., 1989; Boyle et Ardill, 1989; Crutzen et Müller, eds., 1989; McKibben, 1989; Pearce, 1989; Rifkin, 1989; Schneider, 1989b; Griesshammer et al., 1989; Kandel, 1990.

(3) Le terme de Biosphère (que nous écrirons avec une majuscule, comme la planète Terre) est pris ici au sens de Vernadsky et de l'écologie globale et non de la géochimie ou des nombreux auteurs qui l'utilisent pour désigner le biote ou la biomasse, c'est-à-dire la totalité des organismes vivants; on parle ainsi de la *biosphère marine* et de la *biosphère terrestre* comme «réservoirs» à côté des autres réservoirs géochimiques. La confusion est

devons le situer dans l'évolution des connaissances scientifiques. Notre second objectif sera d'essayer de présenter, aussi brièvement que possible, le problème du réchauffement anthropogénique de la Biosphère provoqué par la révolution industrielle, plus précisément thermo-industrielle, dans une perspective interdisciplinaire et holistique. Nous espérons ainsi contribuer à éclairer un aspect important du débat sur les politiques de développement énergétique, et notamment la question de l'option nucléaire comme remède à la «fièvre» de notre planète.

La perspective que nous présentons est celle de l'écologie globale, cette science de la Biosphère dont la communauté scientifique internationale commence seulement à découvrir - notamment depuis l'étude des conséquences climatiques et biologiques globales d'une guerre nucléaire («l'hiver nucléaire») - qu'elle nous fait pour l'instant défaut et qu'il est urgent de s'en préoccuper pour affronter l'enjeu majeur du futur, qui n'est rien moins que celui de notre rôle dans le devenir de la planète Terre⁽⁴⁾. Encore embryonnaire, marquée par l'ignorance de notre civilisation moderne en matière écologique, cette nouvelle science de la nature à l'échelle du globe cherche à décrire et à comprendre le fonctionnement du «système Terre» [NASA, 1988] sans en exclure l'activité humaine [Clark, 1989] puisque celle-ci est devenue une véritable force géologique altérant les grands cycles biogéochimiques⁽⁵⁾.

Dès le siècle dernier, certains naturalistes s'inquiétèrent des transformations de «la face de la Terre»⁽⁶⁾ provoquées par les hommes et le développement des techniques. Ce thème était dans

«l'air du temps» à l'époque de la Grande Guerre, la première guerre «mondiale». Depuis Hiroshima et les débuts de l'âge nucléaire, les avertissements des *écologistes* n'ont pas manqué [Rens et Grinevald, 1975, 1979; Grinevald, 1985]. Cependant, le catastrophisme incompris des pionniers de la **conscience écologique** fut systématiquement étouffé par le bruit de fond produit par l'idéologie de l'industrialisation, de la guerre, puis de la défense nationale et de la croissance économique. Notre culture, dite moderne, urbano-industrielle, avait tout simplement perdu le sens du temps, celui qui s'écoule irrémédiablement, mais aussi celui des météores, des cycles de la nature, bref, le temps qu'il fait, dehors, celui de l'air qu'on respire, avec toute la planète [Gribbin, ed., 1986]. Notre culture, emportée par les triomphes de notre technoscience prométhéenne, avait perdu le sens du monde, au vieux sens du terme [Serres, 1990].

Pourtant, dès les lendemains de la deuxième guerre mondiale, appliquant les principes de la thermodynamique, de la cybernétique et de l'écologie des écosystèmes, un certain nombre de scientifiques réfléchissant sur la problématique de l'évolution mirent en évidence les contradictions éco-logiques entre l'expansion économique (et démographique) mondiale et les limites de la planète et de la Biosphère. Ce changement d'attitude scientifique, marginal jusqu'au début des années 1980, n'a pas (encore) bouleversé la **science économique** dominante, discipline fondamentalement mécaniste qui se moque du monde (c.-à-d. des ressources naturelles, de l'énergie, de l'air, de l'eau, de tout ce qui nous fait **vivre!**), comme le démontrent depuis vingt ans quelques savants non-conformistes, dont le mathématicien et économiste Nicholas Georgescu-Roegen.

Dans l'histoire des idées sur l'environnement, les années 1962-1972 constituent un tournant majeur: de Rachel Carson à «Woodstockholm»! Les racines historiques de notre crise écologique sont profondes, voire religieuses [White, 1967]. La conférence de l'Unesco sur la biosphère, en 1968, et la conférence des Nations Unies sur l'environnement, à Stockholm, en 1972, illustrent les premières manifestations, au niveau international, de ce **changement de perspective** qui impliquera, en profondeur, une réconciliation entre développement et environnement, économie et écologie, société et nature. En 1972, le rapport *Nous n'avons qu'une Terre*, puis, en 1987, le «rapport Brundtland», *Notre avenir à tous*, traduisent bien l'émergence de cette nouvelle **sensibilité planétaire**, sans toutefois proposer une perspective d'avenir scientifiquement cohérente.

La «crise de l'énergie», éclatant comme un coup de tonnerre en octobre 1973, un an après le rapport sur «les limites à la croissance» lancé par le Club de Rome, est toujours là, à l'horizon, même si les prix du marché sont incapables d'en donner une représentation réaliste pour le long terme. En fait, la crise de l'énergie, qui est une crise entropique (ou entropologique) [Grinevald, 1982; 1984; Rifkin, 1989], souligne le caractère «subversif» de l'**écologie**, science fondamentale qui s'applique aux rapports entre population, énergie, ressources et environnement [Ehrlich et al., 1978; Ramade, 1981, 1984, 1989; Simmons, 1981].

également entretenue par l'utilisation de néologismes comme *écosphère* au lieu du terme scientifique de Biosphère (introduit en 1875 par le géologue Eduard Suess et adopté, en lui donnant son sens biogéochimique, énergétique et écologique actuel, par le géochimiste russe Vladimir Vernadsky). La confusion terminologique est ici très fâcheuse; elle traduit souvent un flou conceptuel et théorique plus grave encore. Voir Grinevald, 1987, 1988; Polunin et Grinevald, 1988.

(4) Pour une introduction scientifique à l'écologie globale, voir: Bolin, 1979, 1980; Budyko, 1980, 1986; Southwick, ed., 1985; Botkin, 1985; Malone et Roederer, eds., 1985; Clark et Munn, eds., 1986; NASA, 1988; NRC, 1983, 1986, 1988; Odum, 1989; Ramade, 1981, 1984, 1989; et surtout Rambler *et al.*, 1989.

(5) Le concept des cycles biogéochimiques de la Biosphère (la circulation des éléments chimiques dans la nature, entre le vivant (le biote), la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère, dont le cycle du carbone est l'exemple le plus parfait puisqu'il est intimement associé au métabolisme des êtres vivants) a été fondé (sur la base du travail des savants du XIX^e siècle) par Vernadsky et Lotka dans les années 1920, et adopté par les écologistes les plus scientifiques, comme G.E. Hutchinson, R. Lindeman et les frères Odum [Grinevald, 1987, 1988]; mais ce n'est que depuis «la révolution de l'environnement», vers 1970, qu'il fait l'objet d'importants programmes de recherches, notamment dans le cadre des «Dahlem Conference» à Berlin [Breuer, 1980], du SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment du CIUS), de la NASA et d'autres institutions scientifiques aux Etats-Unis et ailleurs, et qu'il est au centre des projets du grand Programme International Géosphère-Biosphère (IGBP), le fameux «Global Change», lancé officiellement en septembre 1986 par la 21^e Assemblée générale du Conseil international des Unions scientifiques (ICSU) qui s'est tenue en Suisse, à l'Université de Berne. Les cycles biogéochimiques sont exposés dans la plupart des bons traités d'écologie. Voir notamment: Hutchinson *et al.*, 1970; Odum, E., 1971; Kormondy, 1976; Colinviaux, 1986; Degens, 1989; en français: Odum, E., 1976; Duvigneaud, 1980; Ramade, 1981, 1984, 1989.

(6) *La Face de la Terre* est le titre de la grande synthèse géologique, en trois tomes, d'Eduard Suess (1831-1914), publiée en allemand en 1883-1909 et en français en 1897-1918. Le chapitre final est sur «La Vie», c'est-à-dire la Biosphère. Le classique de la littérature sur l'environnement du siècle

dernier est le géographe américain George Perkins Marsh (1801-1882), *L'uomo e la natura*, éd. critique par Fabienne O. Vallino, Milan, Franco Angeli, 1988. Voir aussi William Thomas, ed., *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, Chicago, University of Chicago Press, 2 vols., 1956.

Mais avant d'être un enjeu politique mondial et une perspective de changement écologique majeur, «l'effet de serre» est un concept scientifique bien établi depuis un siècle, même si les recherches les plus récentes nous révèlent des boucles de rétroaction (feedbacks) d'une complexité longtemps ignorée⁽⁷⁾. Ce qu'on appelle «l'effet de serre» — métaphore et non exacte analogie (une serre évite les courants d'air!) — est, «en dépit de toutes les controverses qui entourent le terme, l'une des théories les mieux établies en sciences de l'atmosphère» [Schneider, 1989b].

II. LA CHALEUR DE LA RÉVOLUTION INDUSTRIELLE

«C'est à la chaleur que doivent être attribués les grands mouvements qui frappent nos regards sur terre; c'est à elle que sont dues les agitations de l'atmosphère, l'ascension des nuages, la chute des pluies et des autres météores, les courants d'eau qui sillonnent la surface du globe et dont l'homme est parvenu à employer pour son usage une faible partie; enfin les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, reconnaissent aussi pour cause la chaleur.»

Sadi CARNOT [1824]

Si certains peuvent croire que «le ciel nous tombe sur la tête», il est certain que le concept de «l'effet de serre» ne tombe pas du ciel. Il s'inscrit, comme toutes les découvertes scientifiques, dans l'histoire des sciences. Il nous faut reprendre les choses depuis les débuts de la révolution industrielle et thermodynamique, au moment où émerge l'idée d'un rapport entre énergie et civilisation [Grinevald, 1975, 1982].

Symboliquement, pour nous, tout commence en 1824. Cette année-là, à Paris, l'ingénieur Sadi Carnot (1796-1832) publie ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*. Nous savons aujourd'hui que c'était la création, avant la lettre, d'une nouvelle science, la Thermodynamique, en rupture avec le paradigme newtonien de la science mécaniste classique. Dans le même temps, c'était l'annonce de notre modernité: la **révolution thermodynamique**.⁽⁸⁾

La thermodynamique, la science de l'énergie et de l'entropie, ne se développera que bien après la tragique disparition de Carnot. Le nom de cet ingénieur du génie, incompris en son temps, est pour nous synonyme de révolution scientifique: le principe de Carnot, le fameux deuxième principe de la thermodynamique, appelé par Clausius, en 1865, la loi de l'entropie, «la plus économique des lois de la nature» selon Georgescu-Roegen, ne bouleverse pas seulement la science classique, elle démontre aussi la faillite écologique de la conception mécaniste de notre science économique qui ignore totalement nos échanges réels avec l'environnement et notre appartenance à la Biosphère. Nous n'avons toujours pas fini, à peine avons-nous commencé, à découvrir toutes les implications de la **révolution carnotienne**.

ronnement et notre appartenance à la Biosphère. Nous n'avons toujours pas fini, à peine avons-nous commencé, à découvrir toutes les implications de la **révolution carnotienne**.

C'est en 1824 également que le physicien Joseph Fourier (1786-1830), l'auteur de la *Théorie analytique de la chaleur* (1822) qui se démarquait aussi du paradigme newtonien en introduisant dans la physique l'irréversibilité de l'écoulement de la chaleur, publie ses «Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires». Fourier⁽⁹⁾ y déclare, avec une remarquable prescience, que cette question est «l'une des plus importantes et des plus difficiles de toute la Philosophie naturelle», et qu'elle «se compose d'éléments assez divers qui doivent être considérés sous un point de vue général.»

Dans cette synthèse finale d'une série de plusieurs mémoires sur «la chaleur de la Terre», Fourier replace ce lancinant problème de l'histoire naturelle (au sens de Buffon), traité à l'époque par tous ceux qui s'occupent de la «théorie de la Terre», dans son véritable contexte cosmologique. Le système solaire, auquel appartient notre planète, est «placé dans une région de l'univers dont tous les points ont une température commune et constante, déterminée par les rayons de lumière et de chaleur qu'envoient tous les astres environnants». La Terre est ainsi plongée dans la «température froide du ciel planétaire» et, par ailleurs, elle est «échauffée par les rayons solaires, dont l'inégale distribution produit la diversité des climats».

D'une manière similaire à Sadi Carnot, Fourier déclare que son «objet principal est de reconnaître les phénomènes généraux». Il fait donc abstraction des causes secondaires et des détails numériques: la science ne disposant pas alors des «observations météorologiques propres à fournir les données nécessaires»! Il faut distinguer «les caractères des phénomènes dus aux causes générales» et les circonstances locales: «Les mouvements de l'air et des eaux, l'étendue des mers, l'élévation et la forme du sol, les effets de l'industrie humaine [souligné par J.G.] et tous les changements accidentels de la surface terrestre modifient les températures dans chaque climat.» Comme celle du jeune Carnot, la physique et la cosmologie de Fourier traduisent le bouleversement écologique et anthropologique de la révolution industrielle; l'activité humaine est désormais partie prenante des transformations de la face de la Terre: «L'établissement et le progrès des sociétés humaines, l'action des forces naturelles, peuvent changer notablement et dans de vastes contrées, l'état de la surface du sol, la distribution des eaux et les grands mouvements de l'air. De tels effets sont propres à faire varier, dans le cours de plusieurs siècles, le degré de la chaleur moyenne.»

Même s'il est «difficile de connaître jusqu'à quel point l'atmosphère influe sur la température moyenne du globe», il est clair, écrit Fourier, que «l'interposition de l'air modifie beaucoup les effets de la chaleur à la surface du globe». Détail jamais relevé, c'est au genevois Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) que Fourier attribue l'origine de l'analogie météorologique entre l'atmosphère terrestre et une «serre chaude». Fourier conclut que

(7) Voir Ramanathan *et al.*, 1989. Raval, A. et V. Ramanathan, 1989. Daniel Lashof, «The dynamic greenhouse: feedback processes that may influence future concentrations of atmospheric trace gases and climatic change», *Climatic Change*, 1989, 14: 213-242. David Schwartzman, «Biotic enhancement of weathering and the habitability of Earth», *Nature*, 1989, 340: 457-460.

(8) Ce point — résumé ici à l'extrême — est développé ailleurs: Grinevald, 1975, 1976, 1977, 1980, 1982, 1984. Georgescu-Roegen, 1971, 1976, 1979. Voir aussi la note 11.

(9) Joseph Fourier, «Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires», *Annales de Chimie et de Physique*, 1824, 27: 136-167. [réédité sous le titre «Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires», *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de l'Institut de France*, 1827, 7: 570-606; in *Œuvres de Fourier*, (éd. par G. Darboux) Paris, Gauthier-Villars, t. 2, 1890, pp. 97-125.]

«la température est augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur trouve moins d'obstacle pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière, qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure», mais il ne distingue pas les gaz atmosphériques mineurs qui sont précisément responsables de cette absorption du rayonnement infrarouge réémis par la surface du globe terrestre, parce que la science n'a tout simplement pas encore étudié les propriétés optiques des divers gaz qui composent l'atmosphère.

III. TYNDALL ET LES PROPRIÉTÉS RADIATIVES DES GAZ

Mis à part quelques travaux bien oubliés, dont ceux du physicien français Claude Pouillet (1790-1868), c'est essentiellement à John Tyndall (1820-1893) que reviendra ce mérite. Ingénieur d'origine irlandaise, Tyndall fut surtout célèbre comme vulgarisateur controversé de la nouvelle science de l'énergie et de la théorie cinétique des gaz. Comme de Saussure et les pionniers de la révolution thermodynamique, le collaborateur et successeur de Faraday à la Royal Institution de Londres fut un passionné des Alpes et de ses glaciers. Dans les années 1850, il participe au rapide développement de la spectroscopie quantitative. A la suite d'une série de recherches expérimentales sur la chaleur rayonnante, sur l'absorption et la radiation de la chaleur par différents gaz et vapeurs, Tyndall publia une étude⁽¹⁰⁾ dans laquelle il indiquait que toute variation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère devait produire «un changement de climat» et que des «remarques similaires» s'appliquent au «gaz carbonique diffus dans l'air».

La théorie de la chaleur est considérée par Tyndall comme une «nouvelle philosophie naturelle»; elle se situe en effet dès ses origines au voisinage des sciences du vivant, des sciences de la terre et de ce qu'on peut nommer «une nouvelle cosmologie»⁽¹¹⁾. Les deux sources de Carnot, «circonstances» nécessaires au fonctionnement d'un moteur thermique, appartiennent aussi à la «physique terrestre», qui doit comprendre, selon Lamarck, la météorologie, l'hydrogéologie et la biologie [Grinevald, 1988]. Les fondateurs de la nouvelle «cosmologie du feu» de l'âge thermo-industriel imaginent la Terre comme une «machine thermique»: elle fonctionne à partir du flux d'énergie solaire (la «source chaude») qui s'écoule vers le «puits» (la source froide) de l'espace intersidéral. L'atmosphère circule aussi des régions chaudes des tropiques aux régions froides des hautes latitudes. A la surface du globe terraque, le cycle de l'eau, comme la vie et la distribution géographique des plantes

et des animaux, sont affaire d'écoulement et de transformation de l'énergie, de chaud et de froid! La thermodynamique introduit bien un nouveau paradigme, **énergétique**, non seulement pour la physique et la chimie, mais encore pour la biologie et toute la pensée scientifique.

Comme le reconnaissent déjà au début du siècle quelques pionniers de l'écologie théorique⁽¹²⁾, c'est bien la civilisation industrielle, avec sa dimension thermodynamique et écologique, qui altère⁽¹³⁾ — pour la première fois d'une façon anthropogénique — les grands cycles naturels de la Terre, plus précisément, les cycles biogéochimiques de la Biosphère, pour utiliser les concepts de la «nouvelle science» fondée dans les années 1920, par le grand savant russe Vladimir Vernadsky (1863-1945). Ce que nous pouvons appeler la «révolution vernadskienne», inouïe en son temps, est à l'origine de l'écologie globale dont les implications sont aussi fondamentales que celles de la «révolution carnotienne», qu'en fait elle prolonge, me semble-t-il, en réconciliant les sciences de la Vie et les sciences de la Terre⁽¹⁴⁾.

IV. CO₂ ET HISTOIRE GÉOLOGIQUE DU CLIMAT

A l'époque de Tyndall, la géologie, comme toute l'histoire naturelle, faisait l'objet de discussions passionnées. Une vive polémique suivit les déclarations «farfelues» du savant neuchâtelois Louis Agassiz (1807-1873) sur «les âges glaciaires». Plusieurs décennies furent nécessaires pour convertir le monde scientifique, et l'opinion publique, à cette perspective de l'alternance des périodes chaudes et des périodes froides dans l'immense histoire de la Terre et des espèces qui l'habitent, c'est-à-dire les faunes et les flores successives des anciennes Biosphères [Lapo, 1987].

Dans les années 1860, Tyndall était conscient d'introduire une idée tout à fait nouvelle en déclarant que les changements de température du globe associés aux variations des constituants radiativement actifs de l'atmosphère «peuvent avoir produit toutes les mutations du climat que les recherches des géologues ont révélées». Prudent, il ajoutait «peut-être», tout en concluant que seule «l'étendue» de cet effet restait sujette au doute, mais que «les faits, qui constituent les véritables causes», étaient bien établis. On ne fit alors guère attention aux idées de Tyndall sur la «couverture»⁽¹⁵⁾

(10) John Tyndall, «On the absorption and radiation of heat by gases and vapour, and on the physical connection of radiation, absorption and conduction», [Lecture to Royal Society, 7 February 1861], *Philosophical Magazine*, 1861, 22: 167-194, 273-285; et «On radiation through the Earth's atmosphere», *Philosophical Magazine*, 1863, 25: 200-206.

(11) Voir D.S.L. Cardwell, *From Watt to Clausius: The rise of thermodynamics in the early industrial age*, London, Heinemann, 1971. Michel Serres, *Hermès III et IV*, Paris, Minuit, 1974, 1977. Grinevald, 1975, 1976, 1977, 1980, 1982. Edgar Morin, *La Méthode, I, La nature de la nature*, Paris, Seuil, 1977. Ilya Prigogine et Isabelle Stengers, *La Nouvelle Alliance: métamorphose de la science*, Paris, Gallimard, 1979. Jacques Merleau-Ponty, *La science de l'univers à l'âge du positivisme: étude sur les origines de la cosmologie contemporaine*, Paris, Vrin, 1983, chap. IV: «Esquisse d'une énergétique cosmique».

(12) J. Grinevald, *Vernadsky and Lotka as Source for Georgescu-Roegen's Bioeconomics*. Paper presented at the International Conference on Economics and Ecology, Barcelone, Espagne, 26-29 septembre 1987, 23 p., inédit. Voir aussi Grinevald, 1984, 1987.

(13) Werner Stumm, ed., *Global Chemical Cycles and Their Alteration by Man*, Berlin, Abakon Verlagsgesellschaft, 1977. Le professeur Stumm, dans son introduction, cite seulement Lotka parmi les pionniers. Il faudrait mentionner ici Vernadsky et son livre *La Géochimie* [Paris, Alcan, 1924].

(14) Voir V. Vernadsky, *La Géochimie*, op. cit., et *La Biosphère*, Paris, Félix Alcan, 1929. La vie et l'œuvre de Vernadsky font actuellement l'objet d'une importante réévaluation dans son pays d'origine, où une Fondation internationale Vernadsky vient de voir le jour. La théorie Gaïa de J. Lovelock et L. Margulis contribue aussi à cette réactualisation de Vernadsky. Le meilleur ouvrage, en anglais, sur l'héritage scientifique de Vernadsky, est: Lapo, 1987. Voir aussi J. Grinevald, «The Biosphere», by V. Vernadsky, *Environmental Conservation*, 1986, 13 (3): 285-286; Grinevald, 1984, 1987, 1988; Polunin et Grinevald, 1988.

(15) A l'image de la serre, Tyndall ajoute celle de la «couverture» pour parler de l'influence de l'enveloppe atmosphérique sur la température de la Terre. Voir le bestseller de J. Tyndall, *Heat as a Mode of Motion*, Londres,

variable de l'atmosphère; sans doute parce que personne n'imaginait alors un quelconque déséquilibre de l'économie de la nature, surtout pas lié à une perturbation de la teneur de l'atmosphère en gaz aussi mineurs que la vapeur d'eau ou le gaz carbonique. N'étaient-ce pas des quantités négligeables? D'ailleurs, Tyndall lui-même rassurait ses contemporains: «L'histoire de l'homme n'est donc qu'une petite ride à la surface de l'immense océan des temps. La persistance d'un état de la nature inorganique favorable à la continuation du séjour de l'homme sur la Terre semble assurée pour une période de temps bien plus longue que celle durant laquelle ce monde a déjà été habité; de sorte que nous n'avons rien à craindre pour nous-mêmes, ni pour de longues générations après nous.»⁽¹⁶⁾

L'idée d'un rapport entre la teneur en CO₂ de l'atmosphère et la température de la surface de la Terre fut reprise par quelques savants, mais elle fut généralement ignorée par l'ensemble de la communauté scientifique. En effet, malgré la suggestion de Tyndall associant la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère avec la théorie des périodes glaciaires, l'idée d'un tel rapport ne joua pratiquement aucun rôle dans les discussions scientifiques sur l'histoire du climat, et cela jusqu'à une date très récente. Ce sont d'autres considérations, surtout astronomiques, qui dominèrent et, depuis la récente réévaluation des idées «cycliques» controversées de Milutin Milankovitch (1879-1958), dominent apparemment plus que jamais.⁽¹⁷⁾

La reconstitution théorique des climats du passé, la paléoclimatologie, ne prit son véritable essor qu'à la suite de l'ouvrage de Wladimir Köppen (1846-1940) et son gendre Alfred Wegener (1880-1930), *Die Klimate der Geologischen Vorzeit*, publié en 1924. Aujourd'hui, cette science interdisciplinaire a atteint le stade de «big science» internationale, avec un arsenal de techniques impressionnant [Duplessy et Morel, 1990]. Les recherches dans les calottes glaciaires et les inlandis de l'Antarctique et du Groenland permettent de retirer des «carottes» qui, analysées en laboratoire, à Grenoble, Berne ou Copenhague, constituent pour les spécialistes les «archives» de l'histoire de l'environnement global. Ce n'est que depuis quelques années que la paléoclimatologie possède les moyens de reconstruire l'histoire du climat des 150 000 dernières années à partir des «archives glaciaires». Les leçons de

cette science qui nous vient des régions extrêmes du globe, là où en principe on ne devrait guère trouver de pollution et autres traces de l'activité humaine, sont impressionnantes pour quiconque s'inquiète de l'impact de l'espèce humaine sur la Biosphère. Bien plus, notre compréhension des changements climatiques et environnementaux à l'échelle du globe y puise des informations exceptionnelles. C'est ainsi que de nos jours, «l'étude complète du sondage de Vostok a prouvé que cette variation [de la teneur en gaz carbonique de l'air] est étroitement corrélée à celle de la température de l'air pendant les 150 000 dernières années» [Duplessy et Morel, 1989]. Cette corrélation se retrouve avec d'autres gaz à effet de serre, comme le méthane.

Cet ensemble de découvertes toutes récentes⁽¹⁸⁾, qui fait partie des plus spectaculaires résultats des sciences de la Terre depuis le triomphe des idées de Wegener, et qui est l'une des contributions majeures de la glaciologie et de la paléoclimatologie à la problématique interdisciplinaire du «Global Change»⁽¹⁹⁾, s'ajoute aux autres arguments qui légitiment la surveillance continue des gaz à effet de serre et l'extrême vigilance qu'il faut accorder à toute dérive anthropogénique de l'effet de serre.

Parmi les arguments scientifiques, il faut encore mentionner ici ceux qui proviennent de la planétologie comparée, plus particulièrement de l'étude de l'évolution des atmosphères de Mars (où le climat est devenu trop froid!), de Vénus (où l'effet de serre de son atmosphère de CO₂ s'est emballé!) et de notre planète Terre, où depuis environ 4 milliards d'années la vie (sous des formes extrêmement diverses et longtemps microscopiques) se développe dans un environnement «variable» (avec des périodes bien plus chaudes et des périodes bien plus froides qu'aujourd'hui), mais toujours «vivable» (sinon aucun être vivant ne serait là pour en prendre conscience!), d'une étonnante stabilité à long terme,

1863, 4^e éd., 1870; traduit en français par l'abbé Moigno, *La Chaleur, mode de mouvement* [Paris, Gauthier-Villars, 2^e éd., 1887, p. 369].

(16) J. Tyndall, *La Chaleur*, op. cit. (1887), p. 484. Cet optimisme est à mettre en contexte, me semble-t-il, avec le fait que Tyndall, comme la plupart de ses contemporains, a bien assimilé la philosophie de la découverte de la conservation de l'énergie (le premier principe de la thermodynamique), mais beaucoup moins bien sinon pas du tout celle de la découverte de la loi de l'entropie (le deuxième principe de la thermodynamique). Voir Grinevald, 1978, 1982. Il faut se rappeler aussi le dogme de la continuité de l'uniformitarisme (imposé par Lyell) qui dominait alors la pensée géologique et évolutionniste et avait refoulé hors de la science officielle les discontinuités du catastrophisme, dont le retour, sous de nouvelles formes, est aujourd'hui spectaculaire!

(17) Voir Milutin Milankovitch, *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*, Paris, Gauthier-Villars, 1920. Les publications postérieures de Milankovitch n'ont pas été traduites en français, à ma connaissance. André Berger et al., eds., *Milankovitch and Climate*, Dordrecht, Reidel, 1984, 2 vols. John Imbrie et Katherine Palmer Imbrie, *Ice Ages: Solving the Mystery*, Cambridge, Mass., London, Harvard University Press, 1979, 2^e éd., 1986. Duplessy et Morel, 1990.

(18) Voir R. Delmas, «Le gaz carbonique atmosphérique du passé, *La Recherche*, 1980, 114: 992-994. R. Delmas et al., «Polar ice evidence that atmospheric CO₂ 20 000 yr BP was 50% of present», *Nature*, 1980, 284: 155-157. A. Neftel et al., «Ice core sample measurements give atmospheric CO₂ content during the past 40 000 years», *Nature*, 1982, 295: 220-223. A. Neftel et al., «Evidence from polar ice cores for the increase of atmospheric CO₂ in the last two centuries», *Nature*, 1985, 315: 45-47. D. Raynaud et T. Barnola, «An Antarctic ice core reveals atmospheric CO₂ variations over the past few centuries», *Nature*, 1985, 315: 309-311. C. Lorius, et al., «A 150 000-year climatic record from antarctic ice», *Nature*, 1985, 316: 591-596. H. Oeschger et B. Stauffer, «Review of the history of atmospheric CO₂ recorded in ice cores», in Trabalka et Reichle, 1986, pp. 89-108. J. Jouzel et al., «Vostok ice core: a continuous isotope temperature over the last climatic cycle 160 000 years», *Nature*, 1987, 329: 403-408. J. Barnola et al., «Vostok ice core provides a 160.000-year record of atmospheric CO₂ », *Nature*, 1987, 329: 408-414. C. Genther et al., «Vostok ice core: climatic response to CO₂ and orbital forcing changes over the last 'climatic cycles'», *Nature*, 1987, 329: 414-418. U. Siegenthaler et H. Oeschger, «Biospheric CO₂ emissions during the last 200 years reconstructed by the deconvolution of ice core data», *Tellus*, 1987, 39: 140-154. G. Pearman et al., «Evidence of changing concentrations of atmospheric CO₂, NO₂, and CH₄ from air bubbles in Antarctic ice», *Nature*, 1986, 320: 248-250. Dieter Ehhalt, «On the rise: methane in the global atmosphere», *Environnement*, 1985, 27(10): 8-33. B. Stauffer et al., «Methane concentration in the glacial atmosphere was only half that of the preindustrial Holocene», *Nature*, 1988, 332: 812-814. Dominique Raynaud et al., «Climatic and CH₄ cycle implications of glacial-interglacial CH₄ change in the Vostok ice core», *Nature*, 1988, 333: 655-657. Ramanathan, et al., 1985.

(19) Voir J.-C. Duplessy et al., «Le programme géosphère-biosphère: Principaux éléments de la contribution française», *La météorologie*, 1989, 26: 14-23.

et cela malgré l'augmentation de 25-30% de la luminosité de l'étoile que nous nommons le Soleil!⁽²⁰⁾

Mais, au XIX^e siècle (et à certains égards nous n'en sommes pas encore tout à fait sortis!), l'effet de serre et l'idée d'une corrélation entre la concentration de certains gaz en traces dans l'atmosphère et la température du globe n'intéressent manifestement personne! A la fin du siècle dernier, le géologue américain Thomas Chrowder Chamberlin (1843-1928), esprit original qui cherchait (déjà) à relier la géologie⁽²¹⁾ à l'astronomie et à la cosmologie, faisait partie, avec Arrhénius, des rares exceptions.

L'effet de serre est pour nous, préoccupés par la crise de l'environnement, inséparable de cette écologie globale qui met en évidence la complexité des interrelations entre la chimie de l'atmosphère, le système climatique global, la tectonique des plaques, la végétation des continents, le phytoplancton des océans, les cycles biogéochimiques, les activités humaines et bien d'autres variables dont les échelles spatiales et temporelles sont extrêmement diverses⁽²²⁾. Cette perspective globale est tout à fait nouvelle. Au début du siècle, non seulement on disposait encore de trop peu de données quantitatives, comme le déplorait Vernadsky; mais la science interdisciplinaire et holistique que ce grand savant réclamait — dans les années 1920! — n'existait pas encore.

V. ARRHÉNIUS ET LA THÉORIE DE LA SERRE CHAUDE

Au tournant du siècle, c'est le savant suédois Svante August Arrhénius (1859-1927) qui établit définitivement ce qu'il nomme

la «théorie de la serre chaude», et dont il attribue la paternité à Fourier, Pouillet et Tyndall. Il reçut le prix Nobel de chimie en 1903, mais pas pour l'effet de serre: concept et terme déjà bien établis, comme le montrait Camille Flammarion (1842-1925) dans son beau livre sur *L'Atmosphère. Météorologie populaire*. Arrhénius attire en son temps davantage l'attention avec ses idées contre la vision de la «mort thermique» de l'univers et son hypothèse panspermique de l'origine de la vie⁽²³⁾. Il publia ses idées sur l'effet de serre et l'histoire climatique de la Terre non seulement dans des publications scientifiques⁽²⁴⁾ et dans son *Lehrbuch der Kosmischen Physik* (1903), mais encore et surtout, en 1907, dans un ouvrage populaire dont la traduction française s'intitule *L'évolution des mondes* (1910). Dans ce livre, Arrhénius rappelle les idées de Fourier, Pouillet et Tyndall sur l'atmosphère:

«Leur théorie porte le nom de la *théorie de la serre chaude*, parce que ces physiciens admirent que notre atmosphère joue le même rôle que le vitrage d'une serre [souligné par J.G.]. (...) Les éléments de l'atmosphère qui sont causes de ce fait sont la vapeur d'eau et l'acide carbonique, qui l'un et l'autre n'existent qu'en faible partie dans l'air. L'ozone, les carbures d'hydrogène, produisent un effet analogue. Ces corps s'y trouvent cependant en si faible quantité qu'on n'en a pas encore tenu compte dans le calcul. Mais on a, ces temps derniers, fait des expériences très minutieuses sur la perméabilité à la chaleur, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau. A leur aide j'ai pu calculer que si l'acide carbonique disparaissait en entier de notre atmosphère, dont il n'occupe que les trois dix millièmes en volume, la température du sol diminuerait de 21 degrés. L'effet de cet abaissement serait que la quantité de vapeur d'eau diminuerait à son tour. Il en résulterait un nouvel abaissement de la température presque aussi grand. On voit par cet exemple comme de très faibles changements dans la composition de l'air atmosphérique peuvent avoir des conséquences considérables [souligné par J.G.]. La disparition de la moitié de l'acide carbonique existant causerait un refroidissement d'environ 4 degrés; la diminution jusqu'au quart de la proportion actuelle nous ferait perdre 8 degrés. *L'acide carbonique doublerait-il en quantité, que nous gagnerions 4 degrés; il devrait augmenter de quatre fois son volume actuel pour gagner 8 degrés* [souligné par J.G.]. En même temps sa diminution accentuerait les différences de chaleur et de climat des différentes parties du globe; son augmentation égaliserait au contraire la température.» [Arrhénius, 1910]

Arrhénius fut le premier savant d'envergure à clairement faire le lien entre développement industriel, consommation des énergies fossiles, augmentation de la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère, effet de serre et changement climatique à l'échelle du globe.

(20) Depuis l'étude de Carl Sagan et George Mullen, «Earth and Mars: evolution of atmospheres and temperatures» [*Science*, 1972, 177: 52-56], on cherche à expliquer comment la Biosphère juvénile se réchauffait à l'époque où la luminosité du jeune Soleil était plus faible d'environ 25-30%; Sagan et Mullen avaient proposé l'ammoniac comme gaz à effet de serre, mais on introduisit à la fin des années 1970 le gaz carbonique (bien plus abondant dans l'atmosphère avant que le vivant n'en assimile la plus grande partie pour sa propre constitution). Voir T. Owen, R.D. Cess et V. Ramanathan, «Enhanced CO₂ greenhouse to compensate for reduced solar luminosity on early earth», *Nature*, 1979, 277: 640-641. J. Walker, P. Hays et J. Kasting, «A negative feedback mechanism for the long-term stabilization of earth's surface temperature», *Journal of Geophysical Research*, 1981, 86: 9776-9782. J.F. Kasting O.B. Toon et J.B. Pollack, «How climate evolved on the terrestrial planets», *Scientific American*, 1988, 258: 90-97; J.F. Kasting, «Long-term stability of the Earth's climate» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change)*, 1989, 75 (1-2): 83-95; Heinrich D. Holland, *The Chemical Evolution of the Atmosphere and Oceans*, Princeton, Princeton University Press, 1984. Schneider, 1984, 1989. Walker, 1986. Pearce, 1989. Les spécialistes semblent bien d'accord sur l'existence d'un thermostat planétaire sur la Terre, mais pas sur sa nature! Pour un point de vue hétérodoxe, plus proche de la vision vernadskienne du rôle dynamique du biote dans la Biosphère, voir James Lovelock et Andrew Watson, «The regulation of carbon dioxide and climate: Gaia or geochemistry», *Planetary and Space Sciences*, 1982, 30: 795-802; J. Lovelock et Michael Whitfield, «Life span of the biosphere», *Nature*, 1982, 296: 561-563; et Lovelock, 1990.

(21) Thomas Chrowder Chamberlin, «A group of hypothesis bearing on climate changes», *Journal of Geology*, 1897, 5: 653-683; «The influence of great epochs of limestone formation upon the constitution of the atmosphere», *Journal of Geology*, 1898, 6: 609-621; «An attempt to frame a working hypothesis of the cause of glacial periods on an atmospheric basis» *Journal of Geology*, 1899, 7: 545-561.

(22) Voir Paul G. Risser, ed., *Spatial and Temporal Variability of Biospheric and Geospheric Processes*, Paris, ICSU Press, 1986. Thomas Rosswall, Robert Woodmansee et Paul Risser, eds., *Scales and Global Change: Spatial and Temporal Variability in Biospheric and Geospheric Processes*, SCOPE 35, Chichester, Wiley, 1988.

(23) Comme l'astronome C. Flammarion, Arrhénius soutenait l'antique idée de la pluralité des mondes habités et de l'habitabilité de Mars. Le naturaliste Alfred Russel Wallace (1823-1913) affirmait, au contraire, que «la Terre est la seule planète habitable de tout le système solaire»! (*La place de l'homme dans l'univers*, trad. fr., Paris, Reinwald, 1907).

(24) Svante Arrhénius, «On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground», *Philosophical Magazine*, 1896, 41: 237-275. Voir aussi «Les atmosphères des planètes», in Svante Arrhénius, *Conférences sur quelques thèmes choisis de la chimie physique pure et appliquée*, faites à l'Université de Paris du 6 au 13 mars 1911, Paris, Hermann, 1913, pp. 73-92.

Bien plus, il situa le problème dans le cadre géochimique du cycle du carbone, dont les développements de la physiologie, de la chimie organique, de la géochimie et de l'océanographie commençaient à donner une conception générale. Il admit que le cycle naturel du carbone, dans sa phase atmosphérique, pouvait subir l'influence, «dans le cours des siècles», de la «consommation industrielle du charbon» et il essaya de montrer qu'on pouvait mesurer le rapport entre consommation d'énergie fossile, dioxyde de carbone dans l'atmosphère et climat. N'oublions pas qu'à cette époque les sciences de l'atmosphère sont encore embryonnaires et que la pensée scientifique reste encore très classique, ignorant que «l'irrégularité, comme le dit le météorologue Edward Lorenz, est une propriété fondamentale de l'atmosphère»!

Comme l'historien américain Henry Adams (1838-1918), mais sans en tirer des conclusions aussi pessimistes, Arrhénius a relevé le fait, lourd de conséquences, que la consommation énergétique de la civilisation industrielle⁽²⁵⁾ montrait non seulement une croissance mais encore une **accélération** de cette croissance. Arrhénius était philosophiquement à l'opposé du médiéviste nostalgique Henry Adams. Partageant l'idéologie de l'industrialisation et l'optimisme scientiste de son époque, à l'instar de Vernadsky et Teilhard⁽²⁶⁾, Arrhénius croyait, et voulait croire, au Progrès, et non à l'Entropie [Grinevald, 1978].

Contrairement au physicien Bernard Brunhes (1867-1910), pionnier incompris de la protection de la nature, de la maîtrise de l'énergie et de l'analyse thermodynamique de l'économie [Grinevald, 1984], Arrhénius et la plupart de ses contemporains ne s'inquiétèrent pas sérieusement des conséquences écologiques de la civilisation de la puissance (au sens énergétique et stratégique du terme).

Le célèbre savant suédois voyait le renforcement de l'effet de serre associé à la consommation énergétique de la civilisation industrielle comme une question à long terme, et non comme un imminent désastre écologique global, comme le fait de nos jours McKibben [1990]. Ne doutant nullement de la science et de la technique, Arrhénius voyait dans l'augmentation humaine du gaz carbonique dans l'atmosphère une sorte de géotechnique prométhéenne qui pourrait bien, dans les siècles à venir, contrebalancer la prochaine période glaciaire et permettre (comme le pensent

certains de nos jours) «au sol de produire des récoltes considérablement plus fortes qu'aujourd'hui, pour le bien d'une population qui semble en voie d'accroissement plus rapidement que jamais». Tout récemment, des académiciens soviétiques ont avancé une interprétation tout aussi optimiste de la dérive anthropogénique de l'effet de serre!

Comme le chimiste allemand Wilhelm Ostwald (1853-1932), le pape de l'énergétisme [Grinevald, 1984], Arrhénius était conscient des rapports entre **énergie et civilisation**, en l'occurrence au cœur de la civilisation thermo-industrielle, dont il mesurait les limites géologiques à long terme de même que les implications géostratégiques à court terme. A l'instar de Rudolf Clausius (1822-1888), le père du concept d'entropie, et de bien d'autres depuis *The Coal Question* de Jevons, Arrhénius s'inquiétait en effet, pour l'avenir, de l'épuisement des ressources en combustibles, y compris du pétrole, dont les Etats-Unis lui semblaient faire une consommation d'une «prodigalité effrayante»! Les penseurs de la civilisation thermo-industrielle, préoccupés par l'*Energie* (titre du bestseller d'Ostwald), commençaient à considérer que pour le futur, comme le disait Arrhénius, «il devient nécessaire de trouver d'autres sources d'énergie, afin que la civilisation du monde ne s'effondre pas lorsque les combustibles fossiles seront sur le point d'être épuisés.»

Face aux «besoins toujours croissants» (parce que, disait-on déjà, l'industrie et la population progressent toujours plus vite), «il faut donc avoir recours à quelques autres réserves d'énergie, encore plus puissantes pour assurer l'avenir de l'humanité.» Arrhénius, contrairement à Pierre Curie et son ami Vernadsky, prophètes inquiets de l'âge atomique⁽²⁷⁾, ne songeait pas du tout à l'énergie nucléaire! L'avenir énergétique à long terme de l'humanité lui semblait se situer du côté des «énergies renouvelables»...

Dans le texte que nous venons de citer⁽²⁸⁾, qui est une conférence faite en 1922 sur «les sources mondiales d'énergie», Arrhénius s'inquiétait bien de la consommation croissante d'énergies fossiles, stock accumulé par l'immense histoire géologique des anciennes Biosphères⁽²⁹⁾: «la consommation de la houille avant la guerre s'est accrue du double en une dizaine d'années. De là

(25) S. Arrhénius, *L'Evolution des mondes*, trad. fr. de T. Seyrig, Paris, Librairie polytechnique Ch. Béranger, 1910, pp. 42-69. «La consommation mondiale de houille, note Arrhénius, a été, en millions de tonnes, de 510 en 1890, de 550 en 1894, de 690 en 1899, de 890 en 1904 et de 1209 en 1907.» Pour une vue d'ensemble de l'évolution historique de la consommation d'énergie, voir Paul Bairoch, «Energie et révolution industrielle: nouvelles perspectives», *Revue de l'énergie*, 1983, 356: 399-408. Sur la loi d'accélération de l'histoire et la consommation d'énergie chez Henry Adams et, plus généralement, les débuts de la problématique énergie, développement et environnement, voir Juan Martinez-Alier, *Ecological Economics*, Oxford, Blackwell, 1987; et Grinevald, 1978, 1984. Lewis Mumford (1895-1990), *Technique et civilisation*, trad. fr., Paris, Seuil, (1934) 1950. William F. Cottrell, *Energy and Society*, New York, McGraw-Hill, 1955. Earl Cook, *Man, Energy, Society*, San Francisco, Freeman, 1976. Jean-Claude Debeir, Jean-Paul Deléage et Daniel Hémerly, *Les Servitudes de la puissance: une histoire de l'énergie*, Paris, Flammarion, 1986.

(26) J. Grinevald, «Entropologie: le catastrophisme en perspective», *Crise et chuchotement*, Cahier de l'I.U.E.D., 15, Genève, Paris, PUF, 1984, pp. 165-195; «Le développement de/dans la biosphère», *L'homme inachevé*, Cahiers de l'I.U.E.D., 17, Genève, Paris, PUF, 1987, pp. 29-44.

(27) Voir Spencer Weart, *La grande aventure des atomistes français: les savants au pouvoir*, trad. de l'américain, Paris, Fayard, 1980, pp. 34-35; et Grinevald, 1984.

(28) Svante Arrhénius, *Conférences sur quelques problèmes actuels de la chimie physique et cosmique*, faite à l'Université de Paris en avril et mai 1922, Paris, Gauthier-Villars, 1923, pp. 73-92.

(29) Sur le concept des anciennes Biosphères, voir Lapo, 1987. Relevons ici le lien qui existe de nos jours entre la biogéologie du Précambrien et la géologie économique à la recherche de nouveaux gisements de combustibles minéraux et fossiles. Voir J.H. Oehler et M. Schidlowski, «Early biological evolution in relation to mineral and energy resources: IGCP Project 157», *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 1980, 35 (2): 319-324. Heinrich D. Holland et Manfred Schilowski, eds., *Mineral Deposits and the Evolution of the Biosphere*, Berlin, Springer-Verlag, 1982. B. Nagy, R. Weber, J.C. Guerrero et M. Schidlowski, eds., *Developments and Interactions of the Precambrian Atmosphere, Lithosphere and Biosphere*, Amsterdam, Elsevier, 1983. J. William Schopf, eds., *Earth's Earliest Biosphere: Its Origin and Evolution*, Princeton University Press, 1983. Ces recherches fondamentales et appliquées suggèrent que le problème énergétique de l'humanité, et celui des limites à la croissance, ne se situent sans doute pas, pour le moment, du côté de l'épuisement des ressources, mais bien plutôt du côté des «déchets» et de la pollution. Ces recherches confirment également le rôle des processus biologiques dans les cycles du carbone, du soufre et de l'oxygène pendant la plus grande partie des temps géologiques.

résulte que nous avons consommé autant de charbon fossile en dix ans, que l'homme en a brûlé durant tout le temps passé. Le développement a été, pour ainsi dire, explosif et nous courons à une catastrophe. Ce progrès explosif est le signe caractéristique de l'industrialisme. Il n'est pas limité à l'usage du charbon, mais il s'étend aux différentes autres matières premières.»

Comme la plupart de ses contemporains, Arrhénius ne voit pas l'autre aspect, proprement entropique, du problème. Il voit bien le besoin d'énergie à l'entrée du système économique, mais non la pollution à la sortie, la dégradation de l'environnement, qui en est la contrepartie.

VI. ENTROPIE — ÉCOLOGIE — ÉCONOMIE

«Puisque la loi de l'entropie n'offre aucune possibilité de refroidir une planète en réchauffement continu, la pollution thermique pourrait se révéler pour la croissance un obstacle plus décisif encore que la finitude des ressources accessibles.»

Note: «L'accumulation continue de gaz carbonique dans l'atmosphère donne un effet de serre qui ne peut qu'aggraver le réchauffement de la planète.»

Nicholas GEORGESCU-ROEEN
[1976: 14; 1979: 61, 132]

La croissance économique, à l'échelle mondiale, s'est traduite, depuis la révolution industrielle, par une fantastique consommation de ressources énergétiques et minéralogiques. A l'échelle géologique de l'évolution de la Biosphère, cette *excroissance* de la civilisation thermo-industrielle représente une fluctuation éphémère et sans doute exceptionnelle [Pimentel, 1979]. L'euphorie de la «société de consommation» occulte cependant l'envers de la médaille: l'aspect *entropique* de la dimension thermodynamique, ou biophysique, du développement matériel de l'humanité. Malgré certains avertissements bien plus anciens, ce n'est qu'à la fin des années 1960 que les conséquences écologiques globales de la croissance deviennent une préoccupation scientifique et publique. Le tollé qui accueillit le premier rapport au Club de Rome [Petitjean, ed., 1974] n'a pas empêché la crise écologique de prendre une place de plus en plus grande dans les préoccupations du monde actuel...

Le paradigme classique de l'*équilibre de la nature*⁽³⁰⁾ (la thermodynamique du siècle dernier est aussi une théorie de l'équilibre!) et l'idéologie de la *domination de la nature* entretiennent depuis longtemps l'illusion que la planète (considérée comme simple théâtre de l'histoire humaine!) ne se modifie pas substan-

tiellement, et certainement pas à cause de l'activité technique et économique du genre humain! Cette illusion fait aussi partie de la vision mécaniste du monde, parce que le paradigme mécaniste, pré-carnotien, ignore l'irréversibilité des transformations du monde réel dont nous faisons partie. Le concept de «révolution carnotienne» [Grinevald, 1975, 1976, 1977, 1980, 1982], qui associe révolution industrielle et thermodynamique, met en évidence l'aspect entropique du processus économique du développement industriel.

La problématique thermodynamique (énergie-entropie) et biogéochimique, issue des sciences de la nature de l'âge industriel, reste cependant ignorée des sciences sociales et de l'idéologie du développement associée au dogme de la croissance économique. Introduite en écologie à la suite des travaux de Vernadsky et Lotka, fondement de l'analyse des écosystèmes de la Biosphère [Grinevald, 1987, 1990], cette problématique est tout aussi pertinente pour l'analyse globale des interactions entre le développement humain et l'environnement terrestre. Cette perspective scientifique, appelée bioéconomie (*bioeconomics*) par Georgescu-Roegen, économie écologique (*ecological economics*) par d'autres, est utilisée de nos jours par tout un courant de recherches qui visent à évaluer l'impact écologique global de notre gigantesque «métabolisme industriel» [Glassby, 1988; Clark, 1989; Ayres, 1989].

Malheureusement, et pour une multitude de raisons, la problématique thermodynamique-écologie-économie, esquissée dès les années 1920, est restée pour notre culture moderne un impensé jusque dans les années 1970 [Commoner, 1971; Georgescu-Roegen, 1971; Mueller, 1971; Odum, H., 1971]. A posteriori, nous en redécouvrons d'illustres précurseurs, dont le plus important, à côté de Vernadsky, est Alfred Lotka (1880-1949). Pionnier de l'écologie théorique, Lotka souligna dans son livre de 1925 le caractère «atypique» de l'époque industrielle, en raison précisément de sa dépense énergétique qui puise dans le stock limité des combustibles fossiles et du déséquilibre que les émissions industrielles de CO₂ entraînent dans le cycle du carbone. Avant bien d'autres écologistes, Lotka mit en évidence le fait que:

«économiquement nous vivons sur notre capital; biologiquement nous sommes entraînés à transformer radicalement la composition de notre part dans le cycle du carbone en rejetant dans l'atmosphère, à partir du charbon que nous brûlons et des fours de la métallurgie, dix fois autant que la quantité de dioxyde de carbone dans le processus biologique naturel de la respiration.»⁽³¹⁾

(30) Voir Frank N. Egerton, «Changing concepts of the balance of nature», *Quarterly Review of Biology*, 1973, 48: 322-350; Donald Worster, *Nature's Economy: The Roots of Ecology*, San Francisco, Sierra Club, 1977 (rééd. Cambridge University Press, 1985). La prise de conscience de l'impact humain sur les cycles biogéochimiques de la Biosphère va de pair avec la découverte de leur variabilité naturelle: Michael McElroy, «Chemical processes in the solar system: a kinetic perspective», *Chemical Kinetics. International Review of Science, Physical Chemistry*, 1976, 9: 127-211. L.A. Piruzyan et al., «Chemistry and the Biosphere», *Environment*, 1980, 20 (10): 25-30. E.T. Sundquist et W.S. Broecker, eds., *The Carbon Cycle and Atmospheric CO₂: Natural Variations Archean to Present*, Washington, D.C., American Geophysical Union, 1985.

(31) Alfred Lotka, *Elements of Physical Biology*, Baltimore, Williams & Wilkins Company, 1925, p. 222. Réédité en 1956 et considéré alors comme un «classique» de l'écologie. Pour approfondir cette pensée (reconnue comme fondamentale par G.E. Hutchinson, Georgescu-Roegen, Lovelock et William Clark), voir aussi: A. Lotka, *Théorie analytique des associations biologiques, Première partie: Principes*, Paris, Hermann, 1934; «Contact points of population study with related branches of science», *Proceedings of the American Philosophical Society*, 1939, 80 (4): 601-626; «Evolution and thermodynamics», *Science and Society*, 1944, 8: 161-171; «The law of evolution as a maximal principle», *Human Biology*, 1945, 17 (3): 167-194. Significativement, Lovelock [1990], le père spirituel de l'hypothèse Gaïa, et Georgescu-Roegen, le fondateur de la bioéconomie, se réfèrent à Lotka et à Erwin Schrödinger (*What is Life?*, 1944). Cette convergence me semble d'un intérêt historique et épistémologique de la plus haute importance; elle mérite d'être approfondie et mieux connue.

Partant de la même analyse globale de l'évolution que Lotka, Nicholas Georgescu-Roegen, mathématicien devenu économiste, en tirera, dès les années 1960 [Georgescu-Roegen, 1976, 1979], des leçons épistémologiques bouleversantes, non seulement pour les sciences physico-chimiques de l'évolution [Georgescu-Roegen, 1971] mais encore et surtout pour la science économique⁽³²⁾. Les implications théoriques et pratiques pour l'économie de l'énergie et les politiques de développement à long terme en sont immenses.

Comme Georgescu-Roegen le remarque lui-même, la perspective (le paradigme) qu'il nomme bioéconomie représente non seulement une révolution intellectuelle mais encore, plus concrètement, les prémisses d'une nouvelle civilisation à bas profil énergétique. Citant Georgescu-Roegen et reprenant une distinction introduite par Robin Clarke, Amory Lovins [1977] parle de «*soft energy paths*». Le débat, ouvert d'une manière très polémique, est loin d'être clos [Nash, ed., 1979]. Les «sentiers énergétiques doux» impliquent l'abandon des «mythes économiques» concernant l'énergie et la matière analysés par Georgescu-Roegen. Le mythe de la croissance ne les englobe-t-il pas tous?

Cette fin des illusions de «la richesse des nations» ne débouche nullement sur un nihilisme existentiel, tout au contraire, au cœur de l'analyse thermodynamique de la bioéconomie on découvre le véritable flux immatériel, la «joie de vivre», qui constitue la véritable valeur économique [Georgescu-Roegen, 1979: 25, 49], et qui nous relie en fait au flux entropique qui parcourt toute la Biosphère alimentée par le Soleil. C'est donc aussi une redécouverte de la longue durée évolutive, imprévisible, irrévocable, de toute la vie sur Terre, dont l'espèce humaine, passée, présente et future, fait intimement partie et qui ne saurait, même un seul instant, échapper aux principes physiques (dont la loi de l'entropie), qui gouvernent la Biosphère-Gaïa de la planète Terre et son évolution⁽³³⁾.

(32) Voir la première partie de Nicholas Georgescu-Roegen, *Analytical Economics: Issues and Problems*, Préface de Paul Samuelson, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1966; trad. française partielle: *La Science économique: ses problèmes et ses difficultés*, Paris, Dunod, 1970. En français, voir aussi N. Georgescu-Roegen, «De la science économique à la bioéconomie», *Revue d'économie politique*, 1978, 88 (3): 337-382; «La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine», *Entropie*, numéro hors série «Thermodynamique et sciences de l'homme», pp. 76-86 (également in *Economie appliquée*, 1982, 35: 1-26). Voir aussi Grinevald, 1977, 1978, 1980, 1982, 1984. Depuis quelques années, se développent de remarquables recherches interdisciplinaires aux frontières de l'économie, de la thermodynamique et de la biologie évolutive, souvent inspirées, directement ou indirectement, par les travaux de Georgescu-Roegen.

(33) Les contributions du professeur Georgescu-Roegen au débat sur «la crise de l'énergie» sont tout aussi fondamentales que celles d'Amory Lovins: voir surtout «L'énergie et les mythes économiques» («Energy and economic myths», *Southern Economic Journal*, 1975, 41 (3): 347-381; republié in Georgescu-Roegen, 1976) in Georgescu-Roegen, 1979. Voir aussi: «Economics and mankind's ecological problem», in *U.S. Economic Growth from 1976 to 1986: Prospects, Problems, and Patterns*, vol. 7, *The Limits to Growth*, Joint Economic Committee, Congress of the United States, 94th Congress, 2d Session, December 17, 1976, Washington, D.C., U.S. Government printing Office, 1976, pp. 69-91; «Matter matters, too», in Kenneth D. Wilson, ed., *Prospects for Growth: Changing Expectations for the Future*, New York, Praeger, 1977, pp. 293-313; «What thermodynamics and biology can teach economists», *Atlantic Economic Journal*, 1977, 27: 13-21; «Bioeconomics: a new look at the nature of economic activity», in Louis Junker, ed., *The Political Economy of Food and Energy*, Ann Arbor, University of Michigan, 1977, pp. 105-134; «Myths about energy

Le «message terrestre» de Georgescu-Roegen est en ce sens tout aussi révolutionnaire que l'était, dans l'Europe du début du XVII^e siècle, à l'aube de l'expansion planétaire de la culture judéo-chrétienne occidentale et de sa raison d'Etat, le «message céleste» de l'hérétique Galilée!

VI. DE L'ANNÉE GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE AU «GLOBAL CHANGE»

De la mémorable Année Géophysique Internationale (1957-58), marquée par le lancement des premiers satellites artificiels, au Programme International Géosphère-Biosphère (IGBP), le fameux «Global Change»⁽³⁴⁾, officiellement adopté par le Conseil International des Unions Scientifiques (ICSU) lors de sa 21^e Assemblée générale tenue à l'Université de Berne en septembre 1986, la recherche scientifique internationale n'a pas seulement fait des pas de géant, elle s'est aventurée en direction d'une nouvelle vision de la planète Terre. L'âge de l'espace transforme profondément l'esprit scientifique issu de l'histoire culturelle de l'Occident. «L'homme est la nature prenant conscience d'elle-même», écrivait Elisée Reclus (1830-1905) dans son livre sur *L'Homme et la Terre*. Cette prise de conscience de la Terre est naturellement un processus évolutif et historique, enraciné dans l'expérience humaine; il n'est nullement achevé, sans doute même

and matter», *Growth and Change*, 1979, 10: 16-23; «Energy analysis and economic valuation», *Southern Economic Journal*, 1979, 45 (4): 1023-1058; «The role of matter in the substitution of energies» in Antoine Ayoub, ed., *Energie: coopération internationale ou crise*, Québec, Les Presses de l'Université Laval, 1979, pp. 119-131; «Comments on the papers by Daly and Stiglitz», in V. Kerry Smith, ed., *Scarcity and Growth Reconsidered*, Baltimore, London, Johns Hopkins University Press, «Resources for the Future», 1979, pp. 95-105; «Energy and matter in mankind's technological circuit», in Peter M. Nemetz, ed., *Energy Policy: The Global Challenge*, Toronto, Butterworth, 1979, pp. 107-127; «Energy analysis and technology assessment», in William C. Schieve et Peter M. Allen, etc., *Self-Organization and Dissipative Structures: Applications in the Physical and Social Sciences* (Workshop in Honor of Ilya Prigogine, 1978), Austin, Texas, University of Texas Press, 1982, pp. 313-322; «The promethean condition of viable technologies», *Materials and Society*, 1983, 7: 425-435; «Feasible recipes versus viable technologies», *Atlantic Economic Journal*, 1984, 12: 21-31; «Man and production», in Mauro Baranzini et Roberto Scazzieri, eds., *Foundations of Economics*, Oxford, Basil Blackwell, 1986, pp. 247-280. Voir aussi Daly, ed., 1980; Herman Daly et Alvaro Umaña, eds., *Energy, Economics, and the Environment*, Boulder, CO., Westview Press, 1981. Gregory A. Daneke, ed., *Energy, Economics, and the Environment: Toward a Comprehensive Perspective*, Lexington, Mass., Lexington Books, 1982. Robert Costanza et Herman Daly, eds., «Ecological economics», *Ecological Modelling*, 1987, 38: 1-190. Narindar Singh, *Economics and the crisis of ecology*, London, Bellow Publishing, (1976, 1978), 3^e éd. (revised), 1989.

(34) Voir FW.G. Baker, «A Century of international interdisciplinary cooperation», *Interdisciplinary Science Review*, 1982, 7 (4): 270-282; «Les Années polaires internationales: 1882-1883, 1932-1933 et 1957-1958», *Nature et ressources*, 1982, 18 (3): 15-20; «Cataclysmic and Global Change», *Environmental Conservation*, 1987, 14 (2): 176-178; «Le programme international géosphère-biosphère: études des changements à l'échelle du globe», *Bulletin de l'OMM*, 1989, 31 (3): 221-240. Thomas Malone, «Mission to planet Earth: integrating studies of global change», *Environment*, 1986, 28 (8): 6-11, 39-42. Martin F. Price, «Global Change: defining the ill-defined», *Environment*, 1989, 31 (8): 18-44. «Global Change», *Mosaic*, [National Science Foundation], 1988, 19 (3/4): 1-112. Malone et Roederer, eds., 1985. NASA, 1988. NRC, 1983, 1986, 1988. Grinevald, 1987. Polunin et Grinevald, 1988.

ne fait-il que commencer, s'il n'est pas stupidement interrompu par quelque «erreur humaine»...

«Le temps de l'orgueil est fini», déclare le héros de Romain Gary, défenseur des éléphants d'Afrique, dans *Les Racines du ciel* (1956). Les savants de notre temps en savent désormais assez pour confesser leur ignorance [Schell, 1982; Thomas, 1984] face à des questions aussi complexes que: «comment fonctionne le système Terre?» ou «quelles seront à long terme les conséquences de l'aventure nucléaire, civile et militaire?»

Certes, la masse des connaissances déjà accumulées est impressionnante, mais il reste à intégrer dans une approche «interdisciplinaire et holistique» [NRC, 1983] tous les processus physiques, chimiques et biologiques (y compris le comportement global de l'espèce humaine) qui déterminent les changements de l'environnement à l'échelle du globe. L'Année géophysique internationale, contemporaine de la course aux armements thermonucléaires, était sans aucun doute un succès pour l'avancement de «la physique du globe», mais non pour l'écologie globale de la Biosphère, ou la «géophysologie» [Lovelock, 1985], qui n'étaient tout simplement pas à l'ordre du jour. La science dominante ignorait encore l'écologie! La révolution de l'environnement propulse l'écologie sur le devant de la scène. Les sciences de la Terre ne peuvent désormais plus ignorer les sciences de la Vie: le Programme International Géosphère-Biosphère, le projet «Global Change», réussira-t-il à corriger l'ancienne orientation de la science occidentale: mécaniste, réductionniste et «sans vie»?

Pour l'instant, comme Jérôme Ravetz [in Clark et Munn, eds., 1986: 421] le souligne, c'est l'ignorance qui caractérise notre nouvelle science de la Biosphère. Reconnaître que le monde est mal connu, n'est-ce pas la première hypothèse de travail à adopter pour une démarche scientifique? A l'époque où l'impact des activités humaines sur la planète se révèle d'une ampleur sans précédent (plus importante que le volcanisme!), la communauté scientifique internationale commence seulement à se mobiliser: d'une part, pour nous avertir de la catastrophe écologique totale qui résulterait d'un holocauste nucléaire [ICSU, 1986a], et d'autre part, pour ausculter l'état de santé de notre planète en évolution, de plus en plus perturbée par ce que Teilhard de Chardin appelait «le phénomène humain» [Malone et Roederer, eds., 1985; ICSU, 1986b].

Agir sans comprendre ce qu'on fait en ce monde, qui n'a pas été créé spécialement pour nous, constitue un risque qui peut être une question de vie ou de mort. L'humanité, disent les chercheurs les plus chevronnés de la communauté scientifique, ne peut se permettre longtemps un développement aussi inconsidéré que celui qu'elle mène depuis la révolution des «machines à feu» dont parlait Sadi Carnot en 1824. La recherche sur la Biosphère, Gaïa et le «Global Change» sera-t-elle une nouvelle philosophie des lumières? Et sommes-nous prêts à prendre au sérieux les implications politiques et philosophiques des recherches scientifiques fondamentales qui nous entraînent dans la fantastique découverte de notre histoire naturelle de «conscience» émergente dans l'immense coévolution planétaire de la Biosphère?

Historiquement, il est urgent de le reconnaître, cette conscience écologique globale commence paradoxalement avec les débuts de l'âge atomique [Worster, 1977: 339; Commoner, 1972; Rens et Grinevald, 1979; Grinevald 1984b, 1985, 1986]. Les essais thermonucléaires dans l'atmosphère confirmèrent la nouvelle puissance, désormais à l'échelle du globe, d'Homo sapiens (à vrai dire plus Homo faber qu'Homo sapiens); ils préfiguraient

les terribles menaces que la volonté de puissance, désormais démultipliée par nos moteurs thermodynamiques, l'expansion économique et l'explosion démographique, faisait courir à la Biosphère, cet étrange système naturel de la Terre toute entière qui ressemble, vu de l'espace, à une «cellule vivante» (Lewis Thomas), à une «île de vie» (Lynn Margulis), à une «oasis» (Preston Cloud) dans l'océan désertique du cosmos.

N'est-ce pas dans cette perspective qu'il nous faut situer le problème écologique, économique et politique (au plus noble sens du terme) de l'effet de serre, inséparable de ce que François Meyer [1974], théoricien de «l'accélération évolutive», appelle très justement «la surchauffe de la croissance»?

Mais une telle problématique ne se construit pas en un jour, elle possède une histoire, toute récente, pour ne pas dire contemporaine. Nous commençons à peine à en saisir les grandes lignes [Weiner, 1990]. On ne peut ici que mentionner quelques jalons. Sans remonter aux premières Années polaires internationales, il n'est pas exagéré de dire que l'Année géophysique internationale, et donc l'avènement de l'âge de l'espace, en 1957-58, constitue une étape décisive dans ce qu'on peut appeler «l'évolution d'une prise de conscience» [Kellogg, 1987; Grinevald, 1989].

Mis à part quelques chercheurs isolés, d'ailleurs nullement motivés par une inquiétude écologique, comme l'ingénieur anglais George S. Callendar⁽³⁵⁾, ou le géochimiste américain Gilbert N. Plass⁽³⁶⁾, la théorie climatique du CO₂ et le concept même d'effet de serre n'intéressaient pratiquement personne dans les années 50, époque où tout le monde, à l'Est comme à l'Ouest, applaudit aux triomphes de la science et de la technique, symboles de la rationalité du «monde moderne» que l'on opposait aux mythes des «peuples primitifs», désormais considérés comme «sous-développés» et «en retard» sur la voie du progrès [Grinevald, 1975].

En 1957, Roger Revelle et Hans Suess publièrent, dans la petite revue *Tellus*, éditée par Bert Bolin (Stockholm), un article sur les échanges de dioxyde de carbone entre l'atmosphère et l'océan⁽³⁷⁾. Ces deux chercheurs de la Scripps Institution of Ocea-

(35) G.S. Callendar, «The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature», *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1938, 64 (275): 223-240; «The composition of the atmosphere through the ages», *The Meteorological Magazine*, 1939, 74 (878): 33-39; «Can carbon dioxide influence climate?», *Weather*, 1949, 4 (10): 310-314; «On the amount of carbon dioxide in the atmosphere», *Tellus*, 1959, 10: 243-248. Callendar estimait en 1938 que durant la période 1900-1935, une augmentation de 6% de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère provenait de la combustion des énergies fossiles; il avait calculé qu'environ les trois quarts du dioxyde de carbone produit par les activités humaines restaient dans l'atmosphère, entraînant un réchauffement global de 0.1°C. Ce réchauffement n'inquiétait alors personne. Les météorologues le constataient depuis les années 1880 dans l'hémisphère Nord, mais il ne se poursuivait pas après 1940, au point que dans les années 1970 certains catastrophistes (comme l'ingénieur John Hamaker) prophétisaient la survenue imminente d'une nouvelle ère glaciaire! Les caprices de la météo contribuèrent jusqu'au début des années 1980 à occulter le problème soulevé par Arrhénius et Vernadsky du renforcement de l'effet de serre théoriquement associé à la consommation des énergies fossiles et à la déforestation.

(36) Voir surtout Plass, 1956; et «Effect of carbon dioxide variations on climate», *American Journal of Physics*, 1956, 24: 376-387; «Carbon dioxide and the climate», *American Scientist*, 1956, 44: 302-316; «Carbon dioxide and climate», *Scientific American*, 1959, 201: 41-47.

(37) Roger Revelle et Hans Suess, «Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO₂ during the past decades», *Tellus*, 1957, 9: 18-27.

nography de l'Université de Californie, San Diego, à La Jolla, réexaminaient et corrigeaient la vieille théorie selon laquelle l'immense océan, qui couvre 71% de la surface du globe et constitue, de loin, le plus grand «réservoir» de carbone (essentiellement sous forme dissoute de carbonates et bicarbonates), assure parfaitement l'équilibre du cycle du carbone en assimilant tout les excédants de CO_2 dans l'atmosphère. Vernadsky avait entamé, en vain, la réévaluation critique...

La théorie du rôle régulateur de l'océan dans le cycle du carbone, qui remontait au XIX^e siècle, appartenait à la vision scientifique classique d'un «équilibre de la nature» excluant tout désordre, en l'occurrence toute perturbation d'origine humaine. La chimie et la dynamique de l'océan restaient encore bien mal connues! Bien plus, mis à part les écologistes peu considérés par l'establishment académique qui s'intéressaient aux cycles de la nature, le monde de plus en plus compartimenté des scientifiques ne prenait pas encore vraiment au sérieux le point de vue de Vernadsky ou de Lotka qui voyaient en «l'homme civilisé»⁽³⁸⁾, et plus précisément dans sa technique («exosomatique», selon le terme de Lotka repris par Georgescu-Roegen), un nouveau phénomène géologique capable de transformer chimiquement la Biosphère, cette fine pellicule de la Vie qui recouvre avec une densité et une hétérogénéité très inégale la face de la Terre et qui se compose, expliquait Vernadsky, grâce au flux de l'énergie solaire et aux grands cycles chimiques de la nature, de l'organisation complexe de la matière vivante et de ses interactions avec les roches (la lithosphère), l'océan mondial, les lacs et les fleuves (l'hydrosphère), et l'atmosphère, enveloppe gazeuse supérieure qui protège le vaste «organisme» terrestre de la Biosphère du milieu cosmique inhabitable.

Dans sa *Géochimie*, discutant «l'équilibre dynamique de l'acide carbonique dans l'atmosphère», Vladimir Vernadsky [1924: 305-12] écrivait:

(38) L'histoire de cette idée, cristallisée vers 1925 dans le concept de *Noosphère*, conçu ensemble mais diversement exprimé par Teilhard de Chardin, Edouard Le Roy et Vernadsky, et qui traduit la conscience scientifique de la révolution industrielle et thermodynamique, a fait l'objet de plusieurs études (incomplètes) de la part de quelques historiens de la géographie, surtout Clarence J. Glacken. Le «classique» est: George Perkins Marsh (1801-1882), *Man and Nature; or Physical Geography as Modified by Human Action*, New York, 1864, réédité sous le titre *The Earth as Modified by Human Action*, New York, 1874. On peut faire remonter cette idée à Buffon, comme le firent Vernadsky dans sa *Géochimie* (1924) et Lucien Febvre dans *La Terre et l'évolution humaine* [Paris, La Renaissance du livre, 1922]. Mais une chose est de voir en l'homme un agent géographique, voire géomorphologique, une autre est de dire, avec l'abbé Antonio Stoppani (1824-1891), géologue et paléontologiste italien cité par Marsh (1874), que l'apparition de l'Homme sur la Terre constitue «un nouvel élément dans la nature, une force complètement inconnue des périodes précédentes», qu'il s'agit «d'une nouvelle force tellurique dont la puissance et l'universalité peut être comparée aux plus grandes forces de la Terre», et qu'il convient d'introduire dans l'histoire géologique une «ère anthropozoïque». Ce dernier terme sera repris par le géologue russe Alexi Petrovitch Pavlov (1854-1929); le paléontologiste américain Charles Schuchert (1858-1942) parle de «l'ère psychozoïque»; tous deux inspirèrent Vernadsky, en contact à Paris avec Teilhard dans les années 1920. À l'aube du XX^e siècle, l'idée est en effet dans l'air du temps chez les «théoriciens» de l'histoire de la Terre. Malheureusement, la doctrine de la Biosphère et de la Noosphère prendra des sens différents dans la pensée de Vernadsky d'une part et dans celle de Teilhard et Le Roy d'autre part. Voir Grinevald, 1987a; Serafin, 1988.

«De même sont liés à la vie les dégagements de l'acide carbonique, produits par l'activité technique de l'humanité — en premier lieu par exhalations des fours et des cheminées, par la calcification des calcaires, par la fermentation. C'est un fait très important et très caractéristique de l'histoire du carbone, que la quantité de l'acide carbonique ainsi formée par l'humanité devient de plus en plus grande et est d'un ordre qui doit nécessairement être pris en considération dans son histoire géochimique. Ainsi la quantité de l'acide carbonique accumulée dans le cours d'une année par suite de la combustion du charbon de terre s'élevait en 1904, selon les évaluations de A. Krogh à 7×10^8 tonnes métriques, en 1919, selon F. Clarke à 1×10^9 tonnes métriques. C'est déjà 0,05 p. 100 de toute la masse existante de l'acide carbonique de l'atmosphère. Une pareille oscillation devient un phénomène tellurique d'une grande importance.

L'homme civilisé dérange l'équilibre établi. C'est une force géologique nouvelle, dont l'importance devient de plus en plus grande dans l'histoire géochimique de tous les éléments chimiques. Nous verrons que c'est un fait isolé du grand phénomène naturel général (...).

En admettant l'existence d'oscillations séculaires ou même géologiques on peut supposer que la quantité de l'acide carbonique dans l'atmosphère ne reste pas stable à l'époque actuelle. Arrhénius au bout de ces recherches exprime l'opinion que sa quantité dans l'ère actuelle s'élève peu à peu. Il a indiqué un fait nouveau dans son histoire qui n'existait pas dans les époques géologiques antérieures — l'activité de l'homme civilisé. Nous avons déjà vu l'importance de cette activité dans les dégagements de l'acide carbonique. Mais le bilan de l'activité humaine n'est pas fait et il est possible que l'homme a une influence non seulement sur le dégagement mais aussi sur l'absorption de l'acide carbonique — par exemple — en modifiant la quantité de la matière vivante verte.»

Ce dernier point, la modification de la végétation, et sa destruction surtout, mentionné depuis longtemps dans la littérature [Woiehof, 1901], - est capital: c'est la végétation (y compris le phytoplancton microscopique de la surface des océans) qui assure, par la photosynthèse, c'est-à-dire l'entrée de l'énergie libre du Soleil dans le système écologique global de la planète, la production primaire de toute la matière vivante dans la Biosphère. Or, avec la révolution industrielle, qui possède des racines culturelles médiévales [White, 1967], et l'explosion démographique des temps modernes, la déforestation a pris une ampleur qui affecte le cycle du carbone et contribue ainsi à l'altération de la stabilité du climat et de l'ensemble de la Biosphère [Houghton *et al.*, 1983; Myers, 1984, 1988; Bunyard, 1985; Dickinson, ed., 1987; Goreau, 1987; Detwiller et Hall, 1988; Goreau et Mello, 1988;]. Certains géographes et naturalistes du siècle dernier le pressentaient déjà, mais ils ne furent pas écoutés.

Les experts du problème du CO_2 ne commenceront à en tenir compte que récemment, à la suite de recherches menées par des écologistes, et qui ne constituaient encore que des estimations préliminaires, réclamant d'autres recherches plus complètes [Botkin, 1977; Woodwell *et al.*, 1977; Woodwell, 1978].

Le point de vue écologique, souvent mal compris, mit en évidence la flagrante ignorance du monde urbano-industriel et de ses experts vis-à-vis de la véritable dégradation de la nature, depuis longtemps illustrée par la destruction des forêts et des sols [Osborn, 1949], destruction proprement *entropique* comme le

disait, en 1908, Brunhes dans son livre sur la loi de l'entropie significativement intitulé *La dégradation de l'énergie*. Tout le problème est là, prophétiquement, dans la dimension thermodynamique de l'industrialisation, dans ses conséquences pour les grands équilibres écologiques de la planète, et la perturbation de l'effet de serre dont on parle aujourd'hui n'en est qu'un aspect:

«L'industrie, bienfaisante quand elle ralentit la dégradation de l'énergie, est malfaisante quand elle l'accélère et qu'elle pratique la dévastation de la nature, la «Raubwirtschaft». Le «libre jeu des lois naturelles» comporte la tendance universelle à la dissipation des formes utiles de l'énergie; la mesure dans laquelle une époque lutte contre cette tendance pourrait être prise pour la mesure même de son degré de civilisation. A cet égard, les pires barbares sont certains civilisés.» (...)

Chose étrange! pendant longtemps l'industrie a paru ignorer le principe de la dégradation de l'énergie, et c'est l'industrie pourtant qui l'a suggéré!»⁽³⁹⁾

Les experts peuvent se tromper! Avec le jargon de la géochimie⁽⁴⁰⁾ et son découpage analytique de la planète en «réservoirs», ils supposaient que la végétation (improprement appelée la biosphère) étaient incontestablement un «puits» absorbant le gaz carbonique et ne faisait donc pas partie des «sources» rejetant du CO₂ dans l'atmosphère. Ce faisant, les experts du problème

(39) Bernard Brunhes, *La dégradation de l'énergie*, Paris, Flammarion, 1908, pp. 196-198. Voir Grinevald, 1984; et Juan Martinez-Alier, *Ecological Economics*, op. cit., pp. 124-126.

(40) La géochimie a reçu son nom dès 1838, de la part de Christian Friedrich Schönbein (1799-1868), professeur de chimie à l'Université de Bâle, qui introduisit deux ans plus tard le terme d'ozone. Mais ce n'est qu'au XX^e siècle que la géochimie devint une nouvelle discipline scientifique, grâce aux travaux de pionniers comme Frank W. Clarke (1847-1931) et Henry S. Washington (1867-1934) aux Etats-Unis, Victor Moritz Goldschmidt (1888-1947) en Norvège et en Allemagne, Vladimir Vernadsky (1863-1945) et Alexandre Fersman (1883-1945) en Russie. Les travaux de géochimie, souvent associés à la recherche des matières premières pour le développement économique, et prenant depuis la première guerre mondiale une valeur stratégique, sont mal connus du grand public, y compris des philosophes et historiens des sciences. Voir Claude Allègre, *De la pierre à l'étoile*, Paris, Fayard, 1985. Le point de vue soutenu par Vernadsky et ses disciples [Grinevald, 1987, 1988], reste plus mal connu encore, malgré les nombreux traités d'écologie qui ont vu le jour depuis une trentaine d'années! La biogéochimie (terme proposé par Vernadsky en 1923) fut longtemps négligée, mais se retrouve, à partir des années 1970, au centre de nombreuses recherches sur la chimie de l'environnement, notamment dans le cadre du SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment). Martin W. Holdgate and Gilbert F. White, eds., *Environmental Issues*, SCOPE Report 10, London, Wiley, 1977. Gene E. Likens, ed., *Some perspectives on the Major Biogeochemical Cycles*, SCOPE 17, Chichester, Wiley, 1981. Gilbert F. White, «SCOPE: the first sixteen years», *Environmental Conservation*, 1987, 14 (1): 7-13. Robert B. Cook, «Interacting with the elements: Man and the biogeochemical cycles», *Environment*, 1984, 26 (7): 11-15, 38-40. Thomas F. Malone, «Biogeochemical cycles. A new research agenda», *Environment*, 1984, 26 (7) 4-5, 45. Bert Bolin, *Changing Global Biogeochemistry*, University of Stockholm, Department of Meteorology, Report CM-52, 1981. Michael McElroy, ed., *Global Change: A Biogeochemical Perspectives*, NASA, Pasadena, California Institute of Technology, JPL Publications 83-51, 1983. Bolin et Cook, eds., 1983. John A.C. Fortescue, *Environmental Geochemistry: A Holistic Approach*, New York, Springer-Verlag, 1980. C. Bryan Gregor et al., *Chemical Cycles in the Evolution of the Earth*, New York, Wiley, 1988. La biogéochimie, partie fondamentale de l'écologie globale, considérée comme science de la Biosphère, est une approche scientifique capitale pour la problématique du «Global Change»: voir surtout Rambler et al., eds. (1989).

industriel du CO₂ ne voyaient que les émissions dues aux combustibles fossiles et restaient aveugles à l'une des plus graves conséquences écologiques de l'industrialisation et du «développement», à savoir la déforestation [Richard, 1986]. Ils tardèrent beaucoup à voir que cet aspect de la crise écologique planétaire est en relation directe avec la modification anthropogénique de l'atmosphère et les menaces de changement climatique [Houghton et al., 1983; Myers, 1984, 1988; Bunyard, 1985; Dickinson, ed., 1987; Goreau, 1987; Detwiller et Hall, 1988; Goreau et Mello, 1988].

Ce qui manquait à beaucoup d'experts, c'était une vision globale de la Biosphère et du «métabolisme» bioéconomique qui relie les activités humaines à la nature. Dans les années 1950, les pionniers de la prospective qui adoptèrent, en avance sur leur temps, une perspective mondiale prirent conscience de l'ampleur planétaire du développement démographique et technique mondial, mais leurs voix se perdaient alors dans le vacarme des rivalités politiques et internationales! On méconnaissait la nouvelle science de la Biosphère créée par le savant russe Vernadsky, malgré les efforts du professeur G.E. Hutchinson, à Yale, pour diffuser ce message [Grinevald, 1987, 1988; Polunin et Grinevald, 1988]. Cependant, Revelle et Suess, en démontrant qu'une partie seulement du gaz carbonique en excès dans l'atmosphère pouvait être absorbée par l'océan, confirmaient bien, en 1957, le fait que la civilisation industrielle perturbait le cycle naturel du carbone et prenait ainsi, sans le savoir, le risque de modifier à terme le climat de la planète.

Les océans forment un tout, que Suess, en 1875, appela l'hydrosphère. Vernadsky montra que l'hydrosphère constitue une partie essentielle de la Biosphère et de ses grands cycles biogéochimiques. C'est un milieu hétérogène, d'une effrayante complexité, tout aussi affecté par le métabolisme du vivant que l'atmosphère, et dont la science géo-physico-chimique maîtrise bien mal l'aspect bio-géochimique. A l'époque de Revelle, l'exploration de la mer était en pleine mutation. La révolution des sciences de la Terre, pour une part décisive issue de l'exploration du fond des océans, ne devait cependant s'affirmer définitivement que dans les années 1970⁽⁴¹⁾. La vision holistique de la Biosphère et l'approche biogéochimique de Vernadsky et des écologistes n'étaient pas encore admises par l'establishment scientifique de la physique et de la chimie du globe.

L'océan, comme le voyaient Alfred Redfield (1890-1983), de la Woods Hole Oceanographic Institution⁽⁴²⁾, et vers la fin de sa vie

(41) C'est en 1968 que le géophysicien canadien J. Tuzo Wilson, inspiré par *La structure des révolutions scientifiques* de Thomas Kuhn, parle dans une série d'articles de «la révolution wégénérienne», et réclame une réorganisation complète des sciences de la Terre pour tenir compte de la nouvelle vision «mobiliste» et dynamique de la Terre, aussi révolutionnaire que la révolution copernicienne.

(42) Alfred Redfield, «The biological control of chemical factors in the environment», *American Scientist*, 1958, 46: 205-222; article en partie republié in Edward J. Kormondy, ed., *Readings in Ecology*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1965, pp. 196-200. Redfield était un collègue, à Woods Hole, de l'une des plus remarquables femmes de science de notre siècle, madame Rachel Carson (1907-1964), auteur de très beaux livres sur la mer et l'océanographie, et qui, avec son bestseller *Printemps silencieux* (*Silent Spring*, 1962, trad. fr., Paris, Plon, 1963) joua un immense rôle dans l'essor de la sensibilité écologique contemporaine.

le géochimiste suédois Lars Gunnar Sillén (1916-1970), n'est pas un simple «système chimique»⁽⁴³⁾ en équilibre; c'est aussi, précisément parce qu'il fait partie de la Biosphère (au sens de Vernadsky), un système biogéochimique, avec le métabolisme de ses propres organismes vivants, ses processus de non-équilibre, ses échanges de matière et d'énergie, ses cycles, ses courants, sa propre structure thermique et cinétique, sans oublier ses interactions avec l'atmosphère et ainsi les autres parties de la Biosphère. Sa couche supérieure, la plus imprégnée par le vivant, la plus agitée par les vents, en contact direct avec la basse atmosphère, la *troposphère* (concept introduit par le météorologue Léon Teisserenc de Bort en 1902), absorbe plus ou moins vite le gaz carbonique qui se dissout dans l'eau et qui alimente les végétaux verts de l'océan. Toute la dynamique de l'interface océan-atmosphère est en réalité extrêmement complexe. Mais l'immense masse de la mer, comme celle de la forêt amazonienne, procure à l'homme certaines illusions: en fait, les profondeurs de l'océan sont très froides et pratiquement désertiques, elles ne réagissent pas de la même manière et surtout pas avec la même vitesse que les eaux de surface, si bien que la capacité d'absorption de l'océan est bien plus limitée que le laissent croire ses dimensions. L'effet Revelle réduisait cette capacité de moitié.

Ce que Revelle appelait la «pompe biologique» de l'océan ne fonctionne manifestement pas au rythme effréné de l'activité industrielle! Le rythme de la mer n'est pas le rythme frénétique du monde moderne! Mais en ce domaine, notre ignorance scientifique est encore immense, l'océan possède toujours beaucoup de mystères et les nombreux chercheurs qui s'engagent actuellement dans les grands programmes de la recherche scientifique internationale, comme le Global Ocean Flux Study (GOFS), le Biogeochemical Ocean Flux Study (BOFS) ou le World Ocean Circulation Experiment (WOCE), ne le savent que trop!

La leçon est cependant déjà assez claire: avec la révolution thermo-industrielle, une quantité toujours plus grande de gaz carbonique s'accumule dans l'air, altérant dramatiquement la composition chimique de l'atmosphère, non seulement parce que nous consommons de plus en plus d'énergie, et que cette énergie est à 80% d'origine fossile, donc extérieure à la Biosphère actuelle, mais encore parce que la capacité d'absorption de l'océan, comme de tous les autres «systèmes naturels» de la Biosphère, est limitée. En un mot, nous ne respectons pas les limites de la circulation dans la Biosphère! Le recyclage des éléments chimiques dans la nature, grand thème de la chimie organique et de la physiologie végétale depuis les travaux de Lavoisier, Liebig, Dumas, Boussingault et Moleschott, n'est pas exactement ordonné à l'échelle de notre technique, surtout pas depuis que celle-ci semble emportée par une sorte d'accélération de l'histoire [Grinevald, 1975, 1976, 1977, 1978].

Le développement économique moderne, c'est-à-dire essentiellement la richesse de l'Occident, dont la puissance (au sens énergétique du terme) dérive de la fantastique dépense du stock

des ressources naturelles [Georgescu-Roegen, 1979] accumulées par l'immense histoire géologique, perturbe brutalement les rythmes de la Biosphère, altérant le cycle du carbone comme l'ensemble des autres cycles biogéochimiques qui interagissent les uns avec les autres [Bolin et Cook, eds., 1983]. L'activité industrielle rejette depuis un siècle dans l'atmosphère des quantités bien plus considérables de carbone que l'activité volcanique: à l'échelle géologique, la révolution industrielle est une puissante éruption thermo-industrielle!

L'homme, au cours de son histoire, s'est fait beaucoup d'illusions sur l'immensité du ciel, de l'océan ou des forêts! La Terre est immense... pour les humains qui marchent pieds nus sur la terre sacrée. Avec le progrès technique, l'explosion démographique et la croissance économique, la Terre devient une «petite planète» et redevient un «monde clos», une bio-sphère. Ainsi, le «puits» à carbone de l'océan, comme celui de la ceinture verte des tropiques, possède des limites, que notre activité a même plutôt tendance à réduire! Ces limites sont difficiles à évaluer et c'est pourquoi de grands programmes de recherche et de surveillance par les satellites de télédétection sont actuellement mis en chantier, dans le cadre général du programme international «Global Change» [Malone et Roeder, eds., 1985; ICSU, 1986; Clark, 1989].

En 1957, Roger Revelle était le directeur de la prestigieuse Institution Océanographique Scripps, l'un des grands patrons de la recherche aux Etats-Unis, et son rôle dans l'organisation de l'Année géophysique internationale fut aussi important que celui du géophysicien britannique Sidney Chapman (1888-1970), le théoricien de la photochimie de la couche d'ozone. Pour les contestataires, Revelle représentera la science officielle, riche et puissante, largement financée par l'U.S. Navy, inséparable du «complexe militaro-industriel». Pour une large part, c'est le docteur Revelle qui amena, vers le milieu des années 1970, le nouveau Département de l'Energie⁽⁴⁴⁾ et l'Académie nationale des sciences [NRC, 1977, 1981, 1983a] à entreprendre d'importantes recherches sur le problème du dioxyde de carbone, et les relations entre énergie et climat. Ce point mérite d'être rappelé car il éclaire le climat polémique et politique qui s'attacha très tôt, aux Etats-Unis, au débat sur l'effet de serre. Dans l'esprit de beaucoup de gens, Revelle devait devenir le prophète officiel de l'effet de serre, et à ce titre il fut critiqué par tous ceux qui prédisaient la prochaine glaciation (comme l'ingénieur John D. Hamaker et ses disciples) ou ceux, comme Sherwood Idso [1985, 1989], qui voient surtout, avec un étonnant optimisme, les effets bénéfiques (le «dopage» des plantes!) d'une augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère et d'un réchauffement (si possible sans surprises désagréables) du climat! Dans *Tellus*, en 1957, Roger Revelle et Hans Suess n'étaient nullement alarmistes, ils écrivaient simplement, avec le scientisme prophétique de l'époque:

(43) L.G. Sillén, «The ocean as a chemical system», *Science*, 1967, 156: 1189-1197. Voir le volume dédié à la mémoire de Sillén: Edward D. Goldberg, ed., *The Sea*, vol. 5, «Marine Chemistry», New York, Wiley-Interscience, 1974. Voir aussi John J. Walsh, «The role of ocean biota in accelerated ecological cycles: a temporal view», *BioScience*, 1984, 34 (8): 499-507. Michael Whitfield, «The world ocean: mechanism or machination?», *Interdisciplinary Science Reviews*, 1981, 6 (1): 12-35. Et Lovelock, 1986, 1990.

(44) Aux Etats-Unis, le Department of Energy (1978), ex-Energy Research and Development Administration créé en 1974, en pleine «crise de l'énergie», est issu (à côté de la Nuclear Regulatory Commission) de l'Atomic Energy Commission (AEC) dont l'ancêtre direct était le MED (Manhattan Engineer District), le très secret «Projet Manhattan» du Corps des Ingénieurs de l'Armée (1942-1946) qui construisit les premières bombes atomiques. Voir Robert C. Williams et Philip L. Cantelon, eds., *The American Atom: A Documentary History of Nuclear Policies from the Discovery of Fission to the Present, 1939-1984*, Philadelphia, University of Philadelphia Press, 1984.

«Les êtres humains procèdent actuellement à une expérience de géophysique à grande échelle d'un genre qui n'aurait jamais pu se produire dans le passé et qui ne pourra se reproduire dans l'avenir. En l'espace de quelques siècles, nous renvoyons dans l'atmosphère et les océans du carbone organique concentré accumulé sur des centaines de millions d'années dans les roches sédimentaires. Cette expérience, si elle est bien documentée, peut faire progresser la connaissance des processus qui déterminent le temps et le climat.»

Le message n'a guère été entendu à l'époque, ni dans le monde scientifique, ni dans le monde des affaires, ni dans les milieux de la haute politique internationale. Le terme même d'écologie restait encore largement ignoré et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement n'existait pas encore! Le premier Congrès mondial sur le climat, organisé par l'Organisation météorologique mondiale à Genève, n'aura lieu qu'en 1979. Vingt-cinq ans plus tard, Roger Revelle [1982] écrira à nouveau pratiquement la même chose, mais avec quelques nuances intéressantes à remarquer:

«L'humanité a mené — sans le savoir — une gigantesque expérience de géophysique. Avec une documentation adéquate, cette expérience pourrait améliorer notre compréhension de l'océan et de l'atmosphère. Il pourrait aussi en résulter, cependant, des perturbations importantes du climat.»

Dès la première Année polaire internationale, en 1882-1883, on avait déjà fait des recherches sur la concentration du gaz carbonique dans l'air de l'Antarctique [Trabalka et Reichle, eds., 1986: 66-88], mais c'est bien avec l'Année géophysique internationale (1957-58) — originellement la troisième année polaire — que démarra l'organisation de la mesure systématique et continue du CO₂ dans l'atmosphère à l'échelle du globe. Il s'agit véritablement d'un tournant historique, d'autant plus significatif qu'il est contemporain du début de «l'âge de l'espace».

Nous connaissons l'importance des conséquences de la découverte européenne du Nouveau Monde, à la Renaissance. C'est le monde contemporain qui en est issu, pour le meilleur et pour le pire. L'exploration de l'espace, poursuite en un sens de la révolution maritime occidentale du XV^e siècle, est aussi une mutation anthropologique majeure: c'est l'avènement d'une nouvelle vision du monde, une nouvelle image de la Terre, souvent illustrée vers la fin des années 60, par la métaphore technocratique, terriblement anthropomorphique, du «vaisseau spatial Terre»⁽⁴⁵⁾.

(45) Métaphore utilisée par l'ambassadeur des Etats-Unis, Adlai Ewing Stevenson (1900-1965) lors d'une réunion du Conseil Economique et Social des Nations Unies, à Genève, le 9 juillet 1965; Grinevald, 1989: 33. Elle sera largement diffusée par de nombreux auteurs américains et notamment Kenneth Boulding «The economics of the coming spaceship Earth», in H. Jarret, ed., *Environmental Quality in a Growing Economy*, Baltimore, Johns Hopkins university Press, «Resources for the Future», 1966, pp. 3-14. Sur l'Année géophysique internationale, les débuts de l'âge de l'espace, la création de la National Aeronautics and Space Administration, en 1958, le contexte des relations politiques Est-Ouest et la dynamique de la technologie du système militaro-industriel, voir Walter A. McDougall, *... the Heavens and the Earth: A Political History of the Space Age*, New York, Basic Books, 1985. Sur l'évolution scientifique qui nous intéresse ici, voir aussi Weiner, 1986, 1990. Sur l'histoire politique de l'énergie nucléaire, inséparable de l'histoire magistralement analysée par McDougall, voir Robert Jungk, *L'Etat atomique: les retombées politiques du*

La diffusion, par la NASA, des photographies de notre planète-Terre prises de l'espace constitue une mutation culturelle dont notre «mentalité moderne» n'a sans doute pas encore pris toute la mesure. Comme l'a remarqué l'astronome Carl Sagan, l'essor du mouvement écologique américain est contemporain de cette nouvelle vision de la Terre: une petite planète bleue entourée d'une fine et fragile enveloppe atmosphérique flottant au milieu de l'océan noir du cosmos!

«Le temps du monde fini commence», annonçait, au lendemain de la Grande Guerre, Paul Valéry, ce poète-philosophe-thermodynamicien qui fut le premier, à ma connaissance, à prévoir qu'un jour un Ministère de l'Energie imposerait des limites au gaspillage énergétique! Avec la (re)découverte de la Biosphère-Gaïa, nous comprenons peut-être enfin Torricelli, ce disciple de Galilée qui à l'aube de la science instrumentale moderne découvrit que: «nous vivons au fond d'un océan de l'élément air.»

L'entreprise scientifique est certes éminemment collective, mais un nom symbolise incontestablement la découverte scientifique de l'augmentation industrielle de 25% du CO₂ atmosphérique: Charles David Keeling. Sa carrière, entièrement consacrée à la mesure systématique du CO₂ dans l'atmosphère commença avec l'Année géophysique internationale. En 1957, Roger Revelle appela Keeling, alors jeune collaborateur du géochimiste Harrison Brown au California Institute of Technology, à se joindre à la Scripps Institution of Oceanography pour diriger, au pôle Sud et au centre du Pacifique, un programme de mesure de la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère. Keeling avait trouvé son job, il allait faire des mesures, rien que des mesures, et encore des mesures: il ne se doutait pas que son nom allait devenir célèbre et qu'on allait parler de «la courbe de Keeling» [Lambert, 1987; Weiner, 1990].

La courbe de Keeling, que tout être humain instruit doit désormais connaître, illustre à la fois deux choses: d'une part, la dérive anthropogénique de l'effet de serre associé à l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère (ce qui n'est cependant plus que la moitié du problème de l'effet de serre) et, d'autre part, découverte scientifique tout aussi remarquable, l'oscillation saisonnière du métabolisme des végétaux de la Biosphère. Symboliquement, le nom de Keeling doit aujourd'hui être associé à la mesure du gaz carbonique dans l'atmosphère comme celui du chercheur anglais G.M.B. Dobson (1889-1976) est attaché, depuis 1929, date du premier congrès international, à la mesure de l'ozone atmosphérique.

L'observatoire du Mauna Loa, à 3397m d'altitude dans la grande île d'Hawaï, au milieu du Pacifique, donc loin des zones industrielles, où travaillent Keeling et son équipe, a fourni une méthodologie exemplaire. En 1970, les Etats-Unis instituèrent la

développement nucléaire, trad. de l'allemand, Paris, Robert Laffont, 1979. Jim Garrison, *From Hiroshima to Harrisburg: The Unholy Alliance*, London, SCM Press, 1980. Bertrand Goldschmidt, *Le complexe atomique: histoire politique de l'énergie nucléaire*, Paris, Fayard, 1980. Peter Pringle et James Spigelman, *Les barons de l'atome*, trad. de l'anglais, Paris, Seuil, 1982. Gerard H. Clarifield et William M. Wiecek, *Nuclear America Military and Civilian Nuclear Power in the United States, 1940-1980*, New York, Harper & Row, 1984. Louis Puiseux, *La babel nucléaire énergie et civilisation*, (1977) 3^e éd. revue et complétée, Paris, Galilée, 1981. Rens et Grinevald, 1975, 1979; Grinevald, 1984, 1986.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), et l'observatoire météorologique du Mauna Loa passa sous la tutelle de la NOAA. Bien d'autres stations dispersées sur le globe récoltent des observations similaires et les résultats en sont coordonnés depuis le milieu des années 1960 dans le cadre du *Réseau de surveillance de la pollution atmosphérique de fond* (BAPMoN) intégré depuis juin 1989 à un nouveau programme de l'OMM, la *Veille de l'atmosphère globale*. Une énorme quantité de l'immense littérature technique qui s'est déjà accumulée sur ce que la presse nomme aujourd'hui «l'effet de serre» est consacrée à ce problème des mesures, au point de donner parfois l'impression que la comptabilité scientifique des arbres cache la vision écologique globale de la forêt, en l'occurrence la Biosphère de la planète Terre dont nous faisons tous partie!

Les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère sont extrêmement diverses, tant dans leur distribution chronologique (le cycle des saisons) que biogéographique. Mais, paradoxalement, ces variations, gênantes pour «construire» la tendance moyenne globale, sont en elles-mêmes écologiquement extrêmement significatives [Houghton, 1987; Weiner, 1990]. Les importantes fluctuations saisonnières (évidemment plus fortes dans l'hémisphère Nord que dans l'Antarctique) qu'illustre bien la courbe de Keeling traduisent le métabolisme global des différents biomes de la **géographie de la Biosphère** [Pearman et Hyson, 1980; Rougerie, 1988; Mielke, 1989], en d'autres termes, l'intense interaction végétation-atmosphère à l'échelle du globe [Rosenzweig et Dickinson, eds., 1986; Dickinson, ed., 1987]. Cette étude du métabolisme global est de nos jours entièrement renouvelée par les nouvelles techniques spatiales d'observation de la Biosphère [Botkin, ed., 1986]. Pour la nouvelle science de l'écologie globale et la théorie Gaïa, c'est une véritable découverte scientifique: la **respiration de la Terre**.

Pour prendre soin de la «santé de la planète», qui est notre santé à tous, comme le souligne cette année l'OMS, il est sans doute préférable d'examiner «la physiologie de cette Terre»⁽⁴⁶⁾ avec un regard de médecin. C'est ce que propose le chimiste de l'atmosphère James Lovelock en introduisant le terme de «géophysologie» [Lovelock, 1985, 1990; in Dickinson, ed., 1987: 11-23]. La dérive anthropogénique de l'effet de serre qui menace l'avenir de l'humanité réclame, selon Richard Grantham [1989], consultant de l'UNEP, des «approches géothérapeutiques».

On n'oublie évidemment pas ici que le dioxyde de carbone n'est pas le seul gaz radiativement actif. Depuis les travaux de Tyndall, on sait que d'autres gaz, à commencer par la vapeur d'eau, naturellement sensible aux variations de température, participent au mécanisme très complexe de la régulation du bilan radiatif de la Terre. Tyndall parlait déjà de l'ozone de la basse atmosphère, étudié alors par plusieurs savants suisses et français [Mégie, 1989]. D'autres gaz en traces sont aussi des «gaz à effet de serre».

En 1975, un an à peine après la découverte par Sherwood Rowland et Mario Molina impliquant les chlorofluorocarbures (les fameux CFC détectés dans l'atmosphère globale par Lovelock)

dans la détérioration de l'écran d'ozone stratosphérique de la Biosphère [Vernadsky, 1929; Grinevald, 1988], Veerabhadran Ramanathan [1975], spécialiste de l'effet de serre à l'Université de Chicago, accablait encore un peu plus ces gaz d'origine industrielle en démontrant leur importante contribution au renforcement de l'effet de serre. Ils furent inventés en 1930 par Thomas Midgley, Jr., des laboratoires de General Motors, et très largement produits par l'industrie chimique depuis les années 1950. Mais dans «la guerre de l'ozone» qui sévissait alors [Aimedieu, 1988; Rowland, 1988; Gribbin, 1989], on ne fit guère attention à cette découverte de Ramanathan. Le lien entre la production industrielle des CFC, la détérioration de la couche d'ozone et la dérive de l'effet de serre ne surgira brutalement qu'après le consensus scientifique de la réunion de Villach en 1985 [OMM, 1986].

Parmi les autres gaz en traces radiativement actifs [Ramantahan et al., 1985; Bolin et al., 1986], on mettra surtout en évidence le méthane [Ehhalt, 1985; Khalil et Rasmussen, 1987; Pearce, 1989b], dont les découvertes des glaciologues de la paléoclimatologie confirment la signification climatique à long terme similaire à celle des variations du CO₂ dans l'atmosphère. Les taux d'accroissement de ces autres gaz en traces sont en augmentation et dépassent actuellement celui du gaz carbonique [Rowland et Isaken, eds., 1988; Abrahamson, ed., 1989; OMM, 1990]. Ce phénomène, étroitement lié au développement actuel de l'humanité, complique sérieusement le problème écologique global de l'effet de serre, lui donnant une ampleur qui restait encore, en 1987, sous-estimée dans le rapport *Notre avenir à tous* de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement. Selon un récent rapport de l'Agence américaine pour la protection de l'environnement [EPA, 1989], les gaz à effet de serre autres que le CO₂ sont à présent responsables d'environ 50% de l'accroissement de l'effet de serre⁽⁴⁷⁾.

Ce qui est préoccupant, et demande donc, d'urgence, une réaction d'ensemble de la communauté internationale, en fonction bien entendu des responsabilités spécifiques, et en gros elles sont connues [OCDE, 1989], c'est donc bien notre attitude envers la nature, envers ce que Vernadsky [1929] appelait la Biosphère ou ce que d'autres [Barnaby, ed., 1988], inspirés par Lovelock, nomment Gaïa.

VIII. LA BIOSPHERE DE LA PLANÈTE TERRE ET NOTRE NÉGLIGENCE

«Plus est importante la proportion de la biomasse de la Terre occupée par l'humanité et les animaux et les cultures nécessaires à leur alimentation, plus grande est notre implication dans le transfert de l'énergie solaire et autre à travers l'ensemble du système. Au fur et à mesure que s'effectue le transfert de pouvoir à notre espèce, notre responsabilité de préservation de l'homéostasie planétaire s'accroît, que nous en ayons conscience ou non.»

James LOVELOCK [1986]

(46) James Hutton (1726-1797), *Theory of the Earth*, Edinburgh, 1795, t. I, p. 286 [reprint, New York, Hafner, 1972]. Sur la grande tradition scientifique qui relie Hutton, Humboldt, Boussingault, Dokouchaev, Vernadsky, Hutchinson et Lovelock, voir Grinevald, 1988, et *James Hutton et Gaïa: la Terre comme macrocosme*, à paraître.

(47) 49% pour le dioxyde de carbone, 18% pour le méthane, 14% pour les CFC, 6% pour l'oxyde nitreux et 13% pour d'autres gaz en traces. Voir aussi OCDE, 1989, vol. 1: 58.

A la suite de l'Année géophysique internationale, le Programme Biologique International (1964-1974) fut contemporain de la promotion de l'écologie, en tant que science fondamentale et en tant que sensibilité nouvelle vis-à-vis des rapports entre la société industrielle et la nature. On commençait à parler de la crise de l'environnement. Les professionnels de l'écologie précisèrent, à l'échelle des différents écosystèmes et grands biomes de la planète, la productivité primaire, c'est-à-dire la quantité totale de matières organiques (carbone) fixées par la photosynthèse des végétaux verts selon différents paramètres biogéographiques et cela en terme de biomasse et d'énergie⁽⁴⁸⁾. L'écologie, non seulement commençait à se faire connaître du reste du monde scientifique, et d'une partie de l'opinion publique, mais encore elle soulignait l'importance des processus biologiques dans les grands cycles chimiques de la face de la Terre. Malgré la confusion qui entourait et entoure encore le terme même de Biosphère, on commençait à découvrir son importance pour toute la culture scientifique moderne. On redécouvrait le fait que le problème de «la faim du monde» dépend en dernière instance de ce que le botaniste russe Kliment Timiriazev (1843-1920) appelait «la fonction cosmique des plantes vertes». Le programme MAB («L'Homme et la Biosphère») de l'Unesco, lancé après la conférence de septembre 1968 sur la Biosphère, poursuivra en partie ce travail, débouchant sur le concept et la politique des «réserves de biosphère». La «conscience écologique» était en train d'émerger au grand jour, mais bien peu encore en tiraient toutes les conséquences économiques et politiques. La «guerre froide» n'était pas encore tout à fait terminée!

C'est dans la vision holistique de la Biosphère, de sa très longue durée, dominée biogéochimiquement par la vie des plantes vertes, du phytoplancton, des forêts, et des bactéries [Sagan et Margulis, 1989], qu'il nous faut apprécier la mise en évidence récente de la tendance à l'augmentation accélérée, depuis les débuts de la révolution industrielle⁽⁴⁹⁾, de la concentration du gaz

carbonique dans l'atmosphère et d'autres gaz à effet de serre. Ce faisant, la courbe de Keeling devient aujourd'hui un «classique» des sciences de l'environnement, mieux dit de la Biosphère, au-delà des frontières académiques entre sciences de l'homme, sciences de la nature et sciences de l'ingénieur.

La courbe de Keeling, au sens large, est à présent une «courbe-enveloppe» qui s'étire dans le passé pré-industriel, en dessous de 280ppmv, sur plus de 150 000 ans, correspondant à ce «temps immobile» des sociétés traditionnelles dont parle l'historien du climat Emmanuel Le Roy Ladurie; courbe qui semble brusquement s'élancer, d'une manière de plus en plus cambrée vers des valeurs supérieures, 350ppmv étant déjà totalement inconnus de l'expérience historique de l'espèce humaine, en direction d'un horizon futur incertain qui se rapproche à toute vitesse. Sous cette forme en longue durée, seule géologiquement et biosphériquement significative, la courbe de Keeling qui illustre graphiquement la dérive anthropogénique de l'effet de serre est parfaitement analogue aux autres courbes-enveloppes «sur-exponentielles» de «la surchauffe de la croissance» analysée par le professeur François Meyer [1974]. Ce phénomène explosif du développement et de l'expansion d'Homo sapiens-faber [Vernadsky, 1929] au sein de la Biosphère du Quaternaire, totalement lié à la soudaine exploitation massive d'un stock de ressources non-renouvelables accessibles lentement accumulé dans le passé biogéologique de la Biosphère [Schopf, ed., 1983], stock d'énergie et de matière plus limité que le pensent généralement les économistes [Georgescu-Roegen, 1979; Cloud, 1977; Daly, ed., 1980], est un grand phénomène anthropo-biogéochimique à la surface du globe.

La mise en évidence de l'existence de ce phénomène est indépendante des diverses interprétations théoriques qu'on peut tenter d'échafauder: sommes-nous en présence d'un macrophénomène d'accélération évolutive parfaitement naturel à interpréter dans le cadre de la «problématique de l'évolution» [Meyer, 1974] ou d'une dérive anti-nature d'un fraction de l'espèce humaine dont la culture judéo-chrétienne occidentale [White, 1967] et sa militarisation étatique [Grinevald, 1975, 1976, 1977, 1986] sera grandement responsable? Difficile de répondre objectivement à de telles interrogations: les scientifiques, dans le monde entier, s'abstiennent de soulever ce genre de questions et la plupart des humanistes, refoulant le fait qu'il y a là «matière à réflexion», n'y pensent même pas! La philosophie moderne n'a plus les pieds sur terre, elle ne perçoit plus la Terre, notre demeure naturelle. Rien n'illustre cependant mieux, à un niveau purement phénoménologique, l'impact écologique global du développement technologique et démographique de l'humanité, au moins depuis la mutation de la révolution thermo-industrielle et de son expansion planétaire, que cette brusque augmentation des gaz à effet de serre qui modifie à un rythme géologiquement accéléré et sans précédent la composition chimique de l'atmosphère de la Biosphère dont nous dépendons entièrement [Vernadsky, 1945], au même titre que toutes les autres espèces qui se partagent l'espace clos de ce globe terraque.

et celle de l'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère. Cela mérite l'attention de l'anthropologie comparée de la culture occidentale et des autres cultures dites traditionnelles, sous-développées ou primitives.

(48) Voir François Bourlière et Michel Batisse, «L'écologie et la faim du monde», *Atomes*, 1967, 249: 705-712; *Problèmes de productivité biologique*, Paris, Masson, 1967. Helmut Lieth et Robert H. Whittaker, eds., *Primary Productivity of the Biosphere*, Berlin, Springer-Verlag, 1975. F.E. Smith, «The International Biological Program and the science of ecology», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1968, 60: 5-11. W.H. van Dobben et R.H. Lowe-McConnell, eds., *Unifying Concepts in Ecology*, First international congress of ecology, The Hague, the Netherlands, September 6-14, 1974, Wageningen, Centre for agricultural publishing and documentation, La Haye, Dr. W. Junk, 1975. Edmond J. Kormondy et J. Frank McCormack, eds., *Handbook of Contemporary Developments in the World Ecology*, Westport, Conn., Greenwood Press, 1981. Nicholas Polunin, ed., *Ecosystem Theory and Application*, Chichester, Wiley, 1986. Duvinéaud, 1980. Ramade, 1981, 1984, 1989.

(49) Dans Grinevald [1977, 1981, 1982, 1984], on trouve une critique de l'utilisation historiographique courante du concept de «révolution industrielle». On ne tenait pas compte, en général, de l'histoire de l'énergie (longtemps méconnue) et de la signification écologique de la révolution thermodynamique. On avait tendance à pré-dater la révolution industrielle liée aux machines à vapeur, selon une illusion rétrospective propre à l'idéologie de l'industrialisation. Le XIX^e siècle n'a été que partiellement le siècle de la vapeur! L'hydraulique joue encore un rôle important. On consomme souvent encore plus de bois que de charbon. En tant que phénomène social et écologique global, la révolution thermo-industrielle implique un certain seuil dans l'utilisation énergétique des combustibles fossiles. Pour les données quantitatives sur la consommation énergétique mondiale depuis 1860, voir OCDE, 1989: 72. Il y a une homologie frappante entre de nombreuses courbes caractéristiques du développement de l'Occident: celle de l'industrialisation, celle de la croissance économique

A l'échelle des temps géologiques et biosphériques, qui se comptent en millions et en centaines de millions d'années, l'actuelle transformation humaine de la Terre, apparemment minime au regard myope de notre courte historicité, constitue un macro-phénomène planétaire d'une rare violence. Ne faut-il pas l'interpréter en relation avec la brusque montée en puissance de la civilisation scientifico-technique issue du fantastique surdéveloppement de la culture judéo-chrétienne occidentale et qui débouche, depuis la deuxième guerre mondiale et le projet Manhattan, sur ce qu'on appelle, le nouvel âge nucléaire? Il faut remonter très loin dans le passé de la vie sur Terre pour trouver des précédents comparables, si toutefois la comparaison est pertinente. Significativement, la récente prise de conscience de notre fantastique puissance de destruction de notre prétendue «maîtrise de la nature» est contemporaine, dans les milieux académiques des sciences de la Terre et de la coopération scientifique internationale, de la redécouverte du concept écologique global de la Biosphère, introduit d'une manière presque inouïe par Vernadsky au lendemain de la Grande Guerre de 14-18 et ravivé de nos jours par l'hypothèse Gaïa, toujours très controversée, de James Lovelock et Lynn Margulis.

Même si l'effet de serre est un problème bien plus complexe, qui dépasse le seul cycle du carbone, le cas du CO₂ est exemplaire. Au moment où Keeling commence ses mesures, il trouve une valeur moyenne annuelle de 315 ppmv (parties par million de volume), c'est-à-dire une concentration de 0,0315% de CO₂ dans l'atmosphère. La référence pré-industrielle n'est pas aussi nette: les estimations varient entre 250 à 290 ppmv, généralement entre 260 et 280 ppmv. La tendance à la croissance devient évidente à partir de 1860, année où l'industrialisation rejette dans l'atmosphère 93 000 000 tonnes de carbone. De 1860 à 1960, la consommation d'énergies fossiles, qui augmentait à un taux doublant à peu près tous les vingt ans, libéra dans l'atmosphère 80 milliards de tonnes de carbone. Cette tendance se poursuivit d'une manière accélérée jusqu'en 1973, date de ladite «crise de l'énergie», libérant encore, et cela non plus en un siècle mais en une trentaine d'années seulement, plus de 80 milliards de tonnes de carbone supplémentaires. Et cela sans compter les autres émissions associées aux activités humaines modifiant les sols et les paysages.

La froideur de ces chiffres globaux masque en fait un autre phénomène, proprement politico-culturel, celui de la dissymétrie croissante entre le monde industriel et le reste de l'humanité [Grinevald, 1975]. Cette consommation mondiale d'énergies fossiles, est-il besoin de le préciser ici, était pour l'essentiel, jusqu'à une date récente, le fait des pays industrialisés de l'hémisphère Nord, en somme le privilège de «la richesse des nations» de l'Occident. Comme l'ont montré les recherches de Ralph Rotty et d'autres [Trabalka, ed., 1985; Trabalka et Reichle, eds., 1986], la structure des émissions de CO₂ manifeste une évolution significative de 1950 à 1980, correspondant au changement de structure de l'industrialisation mondiale. Selon les chiffres fournis par le rapport Trabalka [1985] publié par le Département de l'énergie des Etats-Unis: en 1950, la part de l'Amérique du Nord et de l'Europe de l'Ouest dans les émissions industrielles de CO₂ dans l'atmosphère est encore supérieure à 68% du total mondial; en 1965, elle représente 53%; en 1980, elle n'était plus que de 43%, dont 26,7% pour l'Amérique du Nord. La part de l'URSS et de l'Europe de l'Est reste stable, légèrement en hausse, de 23% à 24%. Par contre, celle des pays du tiers-monde augmente très nettement, atteignant plus de 20% en 1980 déjà. Selon la plupart des

estimations, cette part des pays en développement va continuer à s'accroître au siècle prochain. Ainsi, la part des pays «en voie de développement» manifeste une nette tendance à augmenter relativement à celle des pays industrialisés. Ceux-ci, en effet, après le coup de semonce de la «crise du pétrole» de 1973, améliorent soudain d'une manière surprenante leur **efficacité énergétique**, et cela d'une manière pourtant encore bien faible par rapport à ce potentiel invisible des économies d'énergie, thermodynamiquement et écologiquement rationnel, bien meilleur marché et surtout beaucoup moins risqué que l'option nucléaire [Lovins et al., 1981; Lovins, 1989; Chandler, 1985; Keepin et Kats, 1988; Byle et Ardill, 1989; Flavin, 1990].

Les activités économiques dans le monde entier affectent l'environnement global. La dérive anthropogénique de l'effet de serre est le type même de problème socio-écologique global, et seul des réponses cohérentes inspirées d'une perspective globale, non seulement internationale mais aussi réellement biosphérique, peuvent avoir quelque chance de réussir dans le long terme. C'est toute la philosophie économique des stratégies de développement, dont aucune n'avait jusqu'ici tenu compte du coût environnemental de son impact sur l'environnement atmosphérique qui est à revoir [Kellogg et Mead, eds., 1977; Bach et al., eds., 1983; Schneider et Londer, 1984; Clark et Munn, eds., 1986; Crutzen et Müller, eds., 1989; Cavanagh, 1989].

Malgré la responsabilité politico-culturelle évidente de la civilisation occidentale, c'est-à-dire des pays «les plus riches du monde», la corrélation entre l'accroissement anthropogénique du gaz carbonique dans l'atmosphère globale et l'explosion démographique mondiale est troublante. A la fin du siècle dernier, où le monde compte 1 590 000 êtres humains, la concentration du CO₂ dans l'atmosphère n'a pas encore dépassé 300ppmv. En 1950, où le monde compte 2 510 000 êtres humains, cette concentration est de 311ppmv. En 1960, où le monde compte 3 milliards d'êtres humains: 317ppmv. En 1970, avec plus de 3 milliards et demi d'êtres humains: 325ppmv. En 1974, la population mondiale atteint les 4 milliards, et le CO₂ 330ppmv. Au début des années 80, avec un peu moins de 4,5 milliards d'êtres humains, notre indice thermo-industriel est de 338ppmv. Le rythme de cette histoire semble visiblement s'accélérer dans les années 1980; en 1982, 4,61 milliards d'êtres humains, et une concentration de CO₂ de 341ppmv; en 1985, 4,84 milliards d'êtres humains et le CO₂ est à 345ppmv. En 1987, l'humanité a franchi le cap des 5 milliards et 348ppmv de CO₂. En 1988, la barre des 350 ppmv est dépassée [Idso, 1989].

C'est bien le mythe de la croissance illimitée⁽⁵⁰⁾ qui est en question. Comme le rappelle notre ami François Meyer, on perçoit paradoxalement mieux les limites à la croissance si on commence par se méfier du dogme de la croissance exponentielle! Et c'est

(50) «Aucune raison sérieuse ne donne à penser que l'Occident doive voir, même dans un avenir lointain, le moment où il aura épuisé ses possibilités d'accroître son savoir et de poursuivre son progrès économique. En d'autres termes, nous ne décelons dans les origines de la croissance aucun élément qui interdise d'en imaginer la perpétuation», écrivent deux éminents universitaires américains, Nathan Rosenberg et L.E. Birdzell, *Comment l'Occident s'est enrichi*, trad. de l'américain (1986), Paris, Fayard, 1989, p. 353. Sur ce débat, voir Kenneth D. Wilson, ed., *Prospects for Growth: Changing Expectations for the Future*, New York, Praeger, 1977. V. Kerry Smith, ed., *Scarcity and Growth Reconsidered*, Baltimore, John Hopkins University Press, 1979, Et Georgescu-Roegen, 1976, 1979. Daly, ed., 1980. Glassby, 1988. Dessus, 1989.

aussi le cas de la tendance à la croissance du CO₂ dans l'atmosphère: cette courbe de croissance, souvent qualifiée d'exponentielle, possède en fait un taux de croissance qui est lui-même variable, et en l'occurrence en augmentation, comme les chiffres des années 1980 l'ont mis en évidence⁽⁵¹⁾; ce qui traduit une **accélération de la croissance**, alors qu'on pouvait s'attendre à une certaine baisse de ce taux de croissance à la suite du choc pétrolier de 1973 et du déclin très net du taux de croissance de la consommation énergétique dans les pays industrialisés depuis cette date⁽⁵²⁾, mais c'était sans compter sur la récente reprise de la croissance, le tiers-monde en développement et surtout sur «l'autre moitié du problème global du dioxyde de carbone» [Goreau, 1987]: la **déforestation**, et surtout la destruction systématique de «l'écran vert» (Georges Kuhnholz-Lordat) des tropiques [Bunyard, 1985; Myers, 1984, 1988; Dickinson, ed., 1987; Detwiler et Hall, 1988; Grantham, 1989].

L'augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère a été d'environ 25% depuis les débuts de la civilisation thermo-industrielle, et la majeure fraction de cette augmentation est postérieure à 1958, c'est-à-dire au début de l'entrée de Charles David Keeling dans sa fonction de surveillant du dioxyde de carbone dans l'atmosphère du globe. Cela peut paraître négligeable, mais ce serait oublier qu'il s'agit d'une perturbation à l'échelle géologique de l'histoire de la Biosphère. Les mesures de Keeling et de beaucoup d'autres chercheurs mirent un certain temps à être perçues comme «inquiétantes». Au début des années 1960, la croissance économique et le progrès technique étaient en train de donner naissance, en Occident, à «la société de consommation». Ce faisant, la culture moderne oubliait la nature, le monde réel dans lequel nous vivons concrètement. Le message des premiers «écologistes» qui révélaient l'envers de la médaille du progrès était

alors refoulé ou ridiculisé. Aujourd'hui encore, l'écologie est le parent pauvre de nos écoles, de nos universités et de nos instituts de recherche. Comme l'effet de serre, la question des «pluies acides» a aussi une histoire plus que centenaire! C'est en 1872 qu'un chimiste de Manchester, Robert Angus Smith (1817-1884), publia son enquête scientifique intitulée *Air and Rain: the Beginning of a Chemical Climatology* dans lequel il traite des «pluies acides». *Le Printemps silencieux* de Rachel Carson date de 1962. Aux États-Unis, en 1965, le rapport du President's Science Advisory Committee intitulé «Restoring the Quality of Our Environment» comprenait, pour la première fois à ce niveau de l'administration publique, un chapitre sur «le dioxyde de carbone atmosphérique», signé par Revelle, Broecker et Keeling notamment. Curieusement, «le pillage de la planète», pour reprendre l'expression du naturaliste Fairfield Osborn [1949], n'a jamais été aussi dévastateur que depuis que le mot «écologie», créé en 1866 par le naturaliste évolutionniste Haeckel, a fait son entrée dans le vocabulaire scientifique!

En 1982, dans la vague impressionnante du Peace Movement, Jonathan Schell, ancien reporter de la guerre du Vietnam et rédacteur au New Yorker publia un livre anti-nucléaire admirable, *Le destin de la Terre*. Son argumentation s'appuyait notamment sur la nouvelle perspective de l'écologie globale et ses informations scientifiques provenaient directement des meilleurs têtes pensantes de la communauté scientifique américaine, comme le professeur Michael McElroy [1976], directeur des sciences de la Terre et des planètes à Harvard. Dans ce bestseller, qui constituait un prélude à la découverte de «l'hiver nucléaire», et une synthèse des idées écologiques et non-violentes, Jonathan Schell mettait en évidence l'un des aspects les moins discutés du drame du XX^e siècle, à savoir notre «tendance presque innée à sous-estimer le mal», en l'occurrence notre cancer atomique. Nous refoulons l'apocalypse de la dérive scientifico-militaro-industrielle de l'ère thermonucléaire, cette dérive du continent Occident dont le philosophe et historien des sciences Michel Serres parle dans son texte de 1972 intitulé «La thanatocratie». *Le Destin de la Terre* rappelait le fait, argumenté depuis des années par les militants écologistes, mais encore trop souvent méconnu, que la menace nucléaire se trouve au cœur même de notre crise écologique planétaire [Rens et Grinevald, 1975, 1979; Grinevald, 1976, 1984b, 1985, 1986].

Dans *Le Destin de la Terre*, Jonathan Schell [1982], comme dans *Planet Earth* de Jonathan Weiner [1986], on mesure la profonde mutation qui est en train d'apparaître au sein de la communauté scientifique internationale et qui donne raison, encore une fois à Albert Einstein:

«La puissance déchaînée de l'atome a tout changé, sauf nos modes de penser et nous glissons ainsi vers une catastrophe sans précédent. Une nouvelle façon de penser est essentielle si l'humanité doit survivre.»

Aucun des multiples aspects de la crise du monde moderne ne peut être résolu sans un nouveau contrat social, et en l'occurrence il s'agit d'une nouvelle alliance avec la nature, d'un *contrat naturel* [Serres, 1990]. Pour commencer, comme aimait le dire le professeur René Dubos, il faut penser globalement et agir localement.

La planète Terre et sa Biosphère constituent une entité d'une telle complexité que la physique qui réussit à briser le mystère des atomes et à explorer, avec des machines de plus en plus puissantes,

(51) Phénomène remarqué par la *BAPMoN Newsletter*, [OMM], 1987, n° 2, qui note p. 3: entre 1981-1982, un accroissement de 1.4 ppmv, 82-83, 1.6 ppmv, 83-84, 1.9 ppmv, et l'estimation pour 84-85, 2.1 ppmv, 85-86, 2.4 ppmv.

(52) Cet effondrement du taux de croissance de la consommation énergétique (à ne pas confondre avec celui de la consommation d'électricité) dans les pays industrialisés après le choc pétrolier de 1973 s'explique par un certain ralentissement de la croissance économique, des mesures de substitution et de «lutte contre le gaspillage». On pouvait encore faire mieux, mais la rechute des prix du pétrole (qui ne peut être durable) a momentanément fait obstacle aux efforts dans cette direction. La «crise de l'énergie» a cependant eu l'heureux effet de réveiller les sociétés industrielles vis-à-vis de leur négligence du principe de Carnot (le deuxième principe de la thermodynamique) et du vieux mot d'ordre du prix Nobel de chimie W. Ostwald et des énergétistes du début du siècle, malheureusement vaincus par le triomphe des atomistes: «ne gaspillez pas l'énergie!» Voir Grinevald, 1982, 1984. On découvre alors que la «machine économique» de la civilisation thermo-industrielle n'a pas été construite d'une manière rationnelle, selon une application scientifique des principes de la thermodynamique et notamment des notions d'entropie et d'exergie. Il a en effet fallu attendre ladite crise de l'énergie et ladite révolution de l'environnement pour qu'on commence à se soucier sérieusement du bilan énergétique de ce que les économistes, à la suite d'Adam Smith, appellent «la richesse des nations». Nos sociétés industrielles (avec des différences considérables d'ailleurs) ont un mauvais rendement thermodynamique: «plus de 50% de l'énergie est dissipée inutilement sous forme thermique; 50% de l'énergie utilisée l'est sous forme de chaleur à moins de 200° (chauffage de locaux — usages domestiques et industriels). Enfin on peut estimer que 10 à 20% seulement de l'énergie consommée est vraiment nécessaire pour atteindre le but que l'homme se fixe. Le reste est consommé dans les conversions d'énergie au cours des cycles», écrit l'ingénieur Roger Dumon [*Economies et conversions d'énergie*, Paris, Masson, 1978, p. 2]. Sur ce thème, voir notamment les publications d'Amory Lovins.

la structure élémentaire de la matière est un jeu d'enfant à côté⁽⁵³⁾. L'écologie globale, science de la Biosphère, est une science encore toute jeune, pratiquement embryonnaire, mais en plein essor [Rambler, *et al.*, eds., 1989]. La Biosphère, c'est le mystère même de la vie à l'échelle de la planète Terre, de son immense évolution géologique, à l'échelle donc du système solaire et de sa cosmogénèse, à l'échelle peut-être, nous n'en savons rien, de tout l'Univers. La Biosphère n'est pas un environnement, comme si nous étions encore, après Copernic et Darwin, au centre du monde, ou, comme le disait Teilhard, au-dessus de la Biosphère. En paraphrasant la conclusion de *Tristes tropiques* de l'anthropologue Claude Lévi-Strauss, nous pouvons et nous devons reconnaître que la Biosphère a commencé sans l'homme et qu'elle s'achèvera

sans lui. N'est-ce pas là la grandeur et la beauté de la nature, et le message essentiel de la révolution écologique? La Biosphère est la niche écologique et la matière même de notre éphémère existence, traversée en permanence par ses flux d'énergie et de matière qui nous relient à tous les autres êtres vivants et à la planète elle-même. La Biosphère est un vaste organisme très complexe qui se nourrit d'énergie solaire et laisse à une distance proprement astronomique et infranchissable la centrale thermonucléaire de l'astre royal autour duquel gravite le système planétaire auquel nous appartenons et à l'intérieur duquel la Biosphère se distingue d'une manière improbable, c'est-à-dire apparemment «miraculeuse», pour reprendre l'expression de *la Planète miracle* d'une superbe émission scientifique de télévision [Brown et Morgan, 1989].

(53) Voir Jacques Grinevald, André Gsponer, Lucile Hanouz, Pierre Lehmann, *La Quadrature du CERN*, préface de Robert Jungk, Lausanne, Editions d'En Bas, 1984.

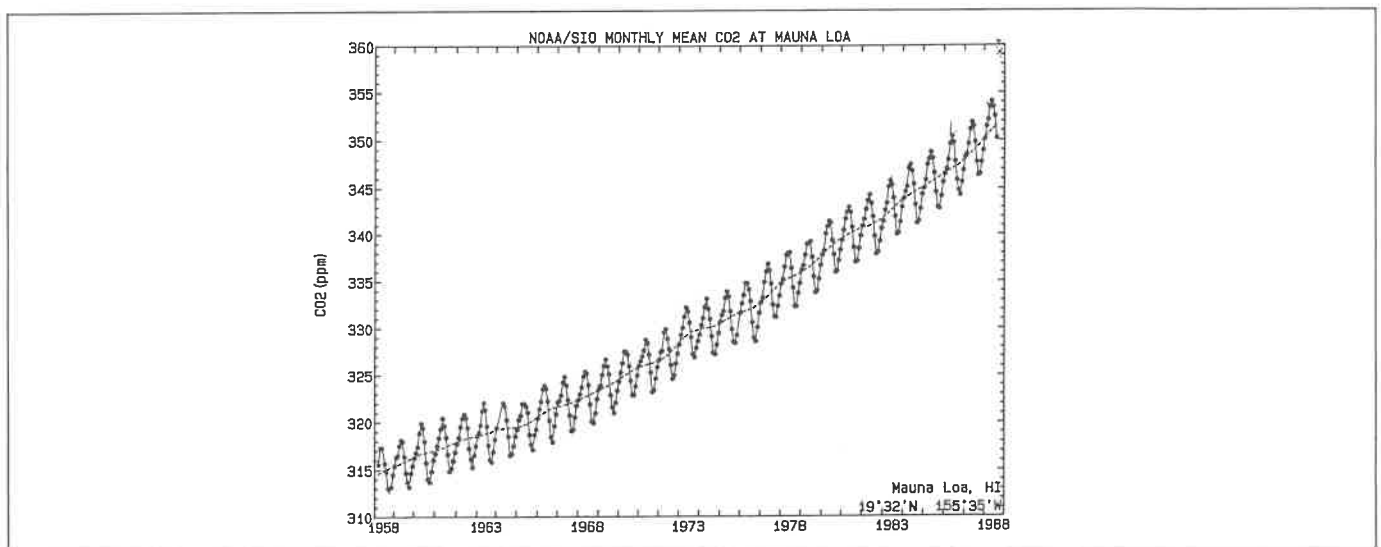


Figure: La courbe de Keeling. Source NOAA.

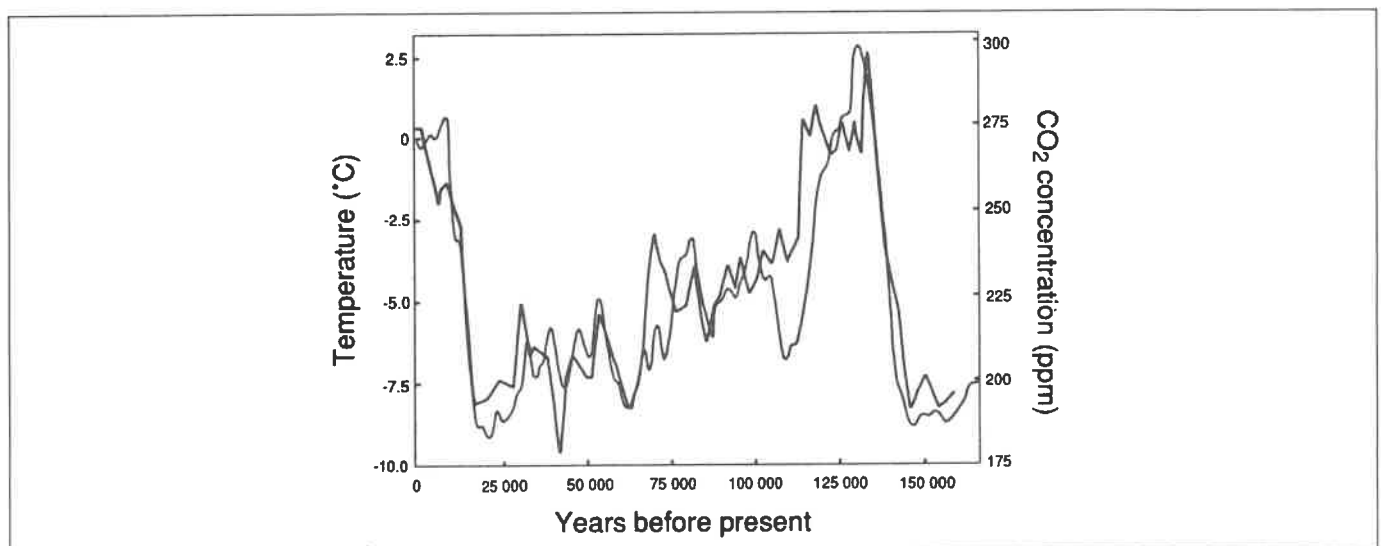


Figure: Paleoclimatological record of temperature change with respect to modern climate and atmospheric CO₂ concentration over Antarctica during the last glacial cycle (adapted from Barnola *et al.*, 1987). Source: OMM, 1990.

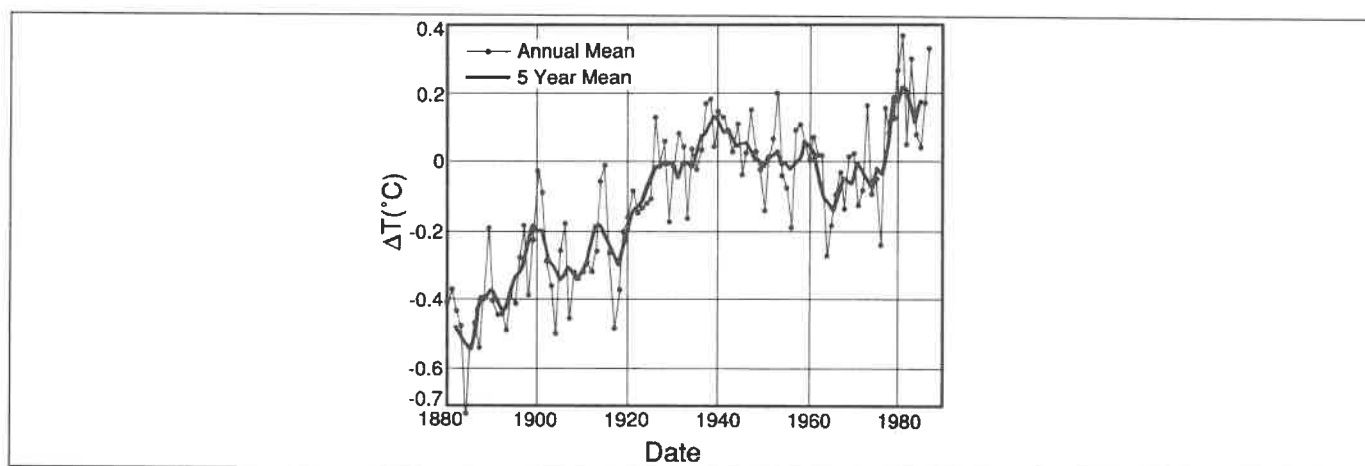


Figure: Record of global-mean air temperature change at the surface of the earth (adapted from Hansen and Lebedeff, 1987). Source: OMM, 1990.

Ce qu'on oublie souvent dans les discussions techniques sur le problème du CO_2 et de l'effet de serre, c'est la nature même de l'atmosphère et de nos rapports biosphériques ou biogéochimiques avec l'atmosphère [Lovelock, 1986, 1990]. Il ne s'agit pas d'un simple environnement atmosphérique, soumis à nos seuls principes de physique et de chimie de l'équilibre, c'est aussi, comme le dit une vieille tradition scientifique, qui passe par Dumas et Boussingault, Vernadsky, Hutchinson et aujourd'hui Lovelock, «une extension de la biosphère» [McElroy, 1988], en somme la membrane protectrice de l'immense cellule contenant toutes les cellules vivantes en même temps que «le système circulaire de la Biosphère» [Margulis et Lovelock, 1980].

Comme on le sait depuis les années où les grandes puissances faisaient exploser des bombes nucléaires dans l'atmosphère [Commoner, 1972], et comme l'a soudain rappelé aux Européens le désastre de Tchernobyl, la contamination radioactive de la Biosphère est l'une des graves menaces que notre inconscience et notre incompetence en matière écologique ont introduites en ce monde [Ramade, 1987]. Il est urgent, il est impératif, qu'une éducation générale introduise la sagesse et le respect de la Biosphère [Polunin, 1982; Polunin et Grinevald, 1988], en lieu et place de cet orgueil prométhéen et parfaitement anthropocentrique qu'incarne depuis des siècles l'histoire triomphale de notre technique de la puissance.

La crise énergétique, qui n'est pas une pénurie mais un excédent, comme en témoigne le somptueux gaspillage de la course aux armements et de «la militarisation de la planète» [Barnaby, ed., 1988], la crise écologique, dont on souligne de plus en plus l'aspect climatique global, et la crise économique du développement inégal de l'humanité ne sont que les multiples facettes d'une seule et même crise de civilisation.

Comme l'avait bien vu l'historien des techniques Lynn White (1907-1987), dans sa célèbre conférence sur «les racines historiques de notre crise écologique», donnée le 26 décembre 1966 à Washington, devant l'Association américaine pour l'avancement des sciences:

«Davantage de science et davantage de technique ne viendront pas à bout de l'actuelle crise écologique tant que nous n'aurons pas trouvé une nouvelle religion ou repensé l'ancienne.

Notre science actuelle et notre technologie actuelle sont toutes deux si imprégnées de l'arrogance chrétienne dominante

envers la nature qu'on ne peut attendre d'elles seules aucune solution pour notre crise écologique. Dès lors que les racines de notre malaise sont en partie religieuses, le remède, lui aussi, doit être essentiellement religieux, que nous le nommions ainsi ou non.» [White, 1967].

Déclaration de la Conférence de Toronto L'atmosphère en évolution: implications pour la sécurité du globe (extrait)

«L'humanité se livre sans frein à une expérience qui touche l'ensemble du globe et dont les conséquences définitives ne le céderaient en rien sinon à une guerre nucléaire mondiale. L'atmosphère terrestre change à une vitesse sans précédent du fait des polluants d'origine anthropique, de l'utilisation excessive, non efficace et non rentable des combustibles fossiles, et des effets de l'augmentation rapide de la population dans de nombreuses régions du monde. Ces changements représentent une grande menace pour la sécurité internationale et ont déjà des conséquences dangereuses dans de nombreuses parties du globe.» [Ferguson, ed., 1988]

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(Lorsqu'elle existe, c'est la date de la traduction française qui est donnée en référence; nous mentionnons ici également la date de l'édition originale. On ne reprend généralement pas dans cette sélection bibliographique les références données dans les notes.)

- ABRAHAMSON, Dean Edwin, ed. (1989), *The Challenge of Global Warming*, Natural Resources Defense Council, Washington, D.C., Island Press.
- AIMEDIEU, Patrick (1988), «La querelle de l'ozone», *La Recherche*, 196: 270-282.
- ALLABY, Michael (1989), *Green Facts: The Greenhouse Effect and Other Key Issues*, London, Hamlyn.
- AYRES, Robert (1989), «Le métabolisme industriel et les changements de l'environnement planétaire», *Revue internationale des sciences sociales*, 121: 401-412.
- AYRES, R. et Indira NAIR (1984), «Thermodynamics and economics», *Physics Today*, 37(11): 62-71.
- BACH, Wilfrid (1983), *Our Threatened Climate: Ways of Averting the CO_2 Problem through Rational Energy Use*, Dordrecht, Reidel.
- BACH, W., ed. (1980), «The carbon dioxide problem. An interdisciplinary survey», *Experientia*, 36(7): 767-890.

- BACH, W. et al., eds. (1983), *Carbon Dioxide: Current Views and Developments in Energy/Climate Research*, Dordrecht, Reidel.
- BAES, C.F. et al. (1977), «Carbon dioxide and climate: the uncontrolled experiment», *American Scientist*, 65: 310-320.
- BARNABY, Frank, ed. (1988), *The Gaia Peace Atlas: Survival into the Third Millennium*, London, Pan Books.
- BARNETT, T. (1986), «Detection of changes in the global atmosphere temperature field induced by greenhouse gases», *Journal of Geophysical Research*, 91: 6659-6667.
- BARTH, M. et J. TITUS, eds. (1984), *Greenhouse Effect and Sea Level Rise: A Challenge for this Generation*, New York, Van Nostrand Reinhold.
- BERNARD, Harold (1980), *The Greenhouse Effect*, Cambridge, Mass., Ballinger.
- BOLIN, Bert (1970), «The carbon cycle», *Scientific American*, 223(3): 124-132.
- BOLIN, Bert (1977), «The impact of production and use of energy on the global climate», *Annual Review of Energy*, 2: 197-226.
- BOLIN, Bert (1979), «Global ecology and man», in *Proceedings of the World Climate Conference*, [Genève, Suisse, 12-23 février 1979], Genève, Organisation Météorologique Mondiale, WMO-No.537., pp.27-56.
- BOLIN Bert. (1980), *Climatic Changes and Their Effects on the Biosphere*, Genève, OMM, WMO-No.942.
- BOLIN Bert (1989), «Changing climates», in L. Friday et R. Laskey, eds., *The Fragile Environment*, The Darwin College Lecture, Cambridge, Cambridge University Press, pp.127-147.
- BOLIN, Bert, ed. (1979), *The Global Carbon Cycle*, SCOPE 13, Chichester, Wiley.
- BOLIN, Bert et Robert COOK, eds. (1983), *The Major Biogeochemical Cycles and Their Interactions*, SCOPE 21, Chichester, Wiley.
- BOLIN, Bert, Bo R. DÖÖS, Jill JÄGER et Richard A. WARRICK, eds. (1986), *The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems*, SCOPE 29, Chichester, Wiley.
- BOTKIN, Daniel (1977), «Forests, lakes, and the anthropogenic production of carbon dioxide», *BioScience*, 27(5): 325-331.
- BOTKIN, Daniel (1982), «Can there be a theory of global ecology?», *Journal of Theoretical Biology*, 96: 95-98.
- BOTKIN, Daniel (1985), «The need for a science of the Biosphere», *Interdisciplinary Science Reviews*, 10(3): 267-278.
- BOTKIN, D., ed. (1986), *Remote Sensing of the Biosphere*, Washington, D.C., National Academy Press.
- BOYLE, Stewart et John ARDILL (1989), *The Greenhouse Effect: A Practical Guide to the World's Changing Climate*, London, New English Library.
- BREUER, Georg (1980), *Air in Danger: Ecological Perspectives of the Atmosphere*, trad. de l'allemand (1978), Cambridge, Cambridge University Press.
- BROECKER, Wallace (1975), «Climate change: are we on the brink of a warming?», *Science*, 189: 460-463.
- BROECKER, Wallace (1987), «Unpleasant surprises in the greenhouse?», *Nature*, 328, 123-126.
- BROWN, Bruce et Lane MORGAN (1989), *La Planète miracle*, trad. de l'anglais, Paris, Editions Atlas.
- BUDYKO, Mikhaïl (1980), *Ecologie globale*, trad. du russe, Moscou, Editions du Progrès.
- BUDYKO, Mikhaïl (1986), *The Evolution of the Biosphere*, trans. from the Russian, Dordrecht, Reidel, 1986.
- BUNYARD, Peter (1985), «World climate and tropical forest destruction», *The Ecologist*, 15(3): 125-136.
- BUNYARD, Peter (1988), «Gaia: the implications for industrialised societies», *The Ecologist*, 18(6): 196-206.
- BUNYARD, Peter et Edward GOLDSMITH, eds. (1988), *GAIA, the Thesis, the Mechanisms and the Implications*, Camelford, Cornwall, U.K., Wadebridge Ecological Centre.
- CAVANAGH, R.C. (1989), «Global warming and least-cost energy planning», *Annual Review of Energy*, 14: 353-373.
- C&EN (1986), «The changing atmosphere», *Chemical & Engineering News*, 64(47): 14-64.
- C&EN (1989), «Global Warming», special report, *Chemical & Engineering News*, 67(11): 25-44.
- CHANDLER, William (1985), *Energy Productivity: Key to Environmental Protection and Economic Progress*, Washington, D.C., Worldwatch Institute, Worldwatch Paper 63.
- CLARK, William (1989), «L'écologie humaine et les changements de l'environnement planétaire», *Revue internationale des sciences sociales*, 121: 349-382.
- CLARK, W., ed. (1982), *Carbon Dioxide Review: 1982*, Oxford, New York, Oxford University Press.
- CLARK, W. et R. MUNN, eds. (1986), *Sustainable Development of the Biosphere*, Laxenburg, Austria, IASA, Cambridge, Cambridge University Press.
- CLARK, Wilson (1974), *Energy for Survival: The Alternative to Extinction*, New York, Anchor Press.
- CLOUD, Preston (1977) «Entropy, materials and prosperity», *Geologische Rundschau*, 66(3): 678-696.
- CLOUD (1983), «La biosphère», *Pour la science*, 73: 138-150.
- COLINVAUX, Paul (1986), *Ecology*, New York, Wiley.
- COMMONER, Barry (1972) *L'Encerclement: problèmes de survie en milieu terrestre*, trad. de l'américain (1971), Paris, Seuil.
- COMMONER, Barry (1980), *La pauvreté du pouvoir: l'énergie et la crise économique*, trad. de l'américain (1976), Paris, Presses universitaires de France.
- COMOLET, Arnaud (1988), «Le réchauffement global de la planète: ses effets sur les activités humaines et les équilibres écologiques», *Futuribles*, 118: 3-18.
- COOK, Earl (1976), *Man, Energy, Society*, San Francisco, Freeman.
- CEQ [COUNCIL ON ENVIRONMENTAL QUALITY] (1981), *Global Energy Futures and the Carbon Dioxide Problem*, Washington, D.C., Council on Environmental Quality.
- CRUTZEN, Paul et Michael MÜLLER, eds. (1989), *Das Ende des blauen Planeten? Der Klimakollaps: Gefahren und Auswege*, München, Beck'sche Reihe.
- DALY, Herman, ed. (1980), *Economy, Ecology, Ethics*, San Francisco, Freeman.
- DEBEIR, Jean-Claude, Jean-Laul DELEAGE et Daniel HEMERY (1986), *Les Servitudes de la puissance: une histoire de l'énergie*, Paris, Flammarion.
- DEGENS, Egon T. (1989), *Perspectives on Biogeochemistry*, Berlin, Springer-Verlag.
- DESSUS, Benjamin (1989), «Energie-développement-environnement: un enjeu planétaire au XXI^e siècle», *Revue de l'énergie*, 415: 978-992.
- DETWILER, R.P. et Charles A.S. HALL (1988), «Tropical forest and the global carbon cycle», *Science*, 239: 42-47.
- DICKINSON, Robert et Ralph CICERONE (1986), «Future global warming from atmospheric trace gases», *Nature*, 319: 109-115.
- DICKINSON, R., ed. (1987), *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*, The United Nations University, Chichester, Wiley-Interscience.
- DUPLESSY, Jean-Claude et Pierre MOREL (1990), *Gros temps sur la planète*, Paris, Editions Odile Jacob.
- DUVIGNEAUD, Paul (1980), *La synthèse écologique*, Paris, Doin, (1974) 2^e éd.
- EHHALT, Dieter (1985), «Methane in the global atmosphere», *Environment*, 27(10): 6-12, 30-33.
- EHRLICH, Paul, Anne EHRLICH et John HOLDREN (1977), *Ecoscience: Population, Resources, Environment*, San Francisco, Freeman.
- EPA [ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY] (1989), *Policy Options for Stabilizing Global Climate*. Draft Report to Congress, Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency.
- EVEREST, David (1988), *The Greenhouse Effect: Issues for Policy Makers*, London, Royal Institute of International Affairs, Joint Energy Programme Occasional Paper.
- EVEREST, David (1989), *The Greenhouse Effect: Policy Implications*, London, Gower.

- FERGUSON, Howard, ed. (1988), *The Changing Atmosphere — L'Atmosphère en évolution*, (Conférence de Toronto, Canada, 27-30 juin 1988), Environment Canada, UNEP, WMO, Genève, OMM, WMO/OMM-710.
- FLAVIN, Christopher (1990), «Slowing Global Warming», in Lester Brown *et al.*, *State of the World 1990*, Worldwatch Institute Report, New York, Norton, pp.17-38.
- GATES, David (1962), *Energy Exchange in the Biosphere*, New York, Harper and Row.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas (1976), *Energy and Economic Myths*, New York, Pergamon.
- GEORGESCU-ROEGEN (1979), *Demain la décroissance: entropie, écologie, économie*, préface et traduction d'Ivo Rens et Jacques Grinevald, Lausanne, Pierre-Marcel Favre.
- GLANTZ, Michael (1979), «A political view of CO₂», *Nature*, 280: 189-190.
- GLASSBY, Geoffrey (1988), «Entropy, pollution and environmental degradation», *Ambio*, 17(5): 330-335.
- GOLDEMBERG, José *et al.* (1987), *Energy for a Sustainable World*, New York, World Resources Institute.
- GOOL, W. van, et J.J.C. BRUGGINK, eds. (1985), *Energy and Time in the Economic and Physical Sciences*, Amsterdam, North-Holland.
- GOREAU, Thomas (1987), «The other half of the global carbon dioxide problem», *Nature*, 328: 581-582.
- GOREAU, Th. et William de MELLO (1988), «Tropical deforestation: some effects on atmospheric chemistry», *Ambio*, 17(4): 275-281.
- GRAEDEL, Thomas (1989) «Regional and global impacts on the Biosphere», *Environment*, 31(1): 8-13, 3641.
- GRAEDEL, Thomas et Paul CRUTZEN (1989), «L'évolution de l'atmosphère», *Pour la science*, 145: 36-44.
- GRANTHAM, Richard (1989), «Approaches to correcting the global greenhouse drift by managing tropical ecosystems», *Tropical Ecology*, 30(2): 157-174.
- GRANTHAM, Richard (1990), *Managing global change by curtailing emission sources and creating new sinks*, Nairobi, UNEP/ISSS Workshop on Effects of Climate Change on Soils and Consultation on Desertification, 12-17 février 1990, sous presse.
- GRIBBIN, John (1982), *Future Weather and the Greenhouse Effect*, New York, Dell.
- GRIBBIN, John (1989), *Le ciel déchiré: pouvons-nous sauver la couche d'ozone?*, trad. de l'anglais (1988), Paris, Editions Sang de la terre.
- GRIBBIN, J. ed. (1978), *Climatic Change*, Cambridge, Cambridge University Press.
- GRIBBIN, J. ed. (1986), *The Breathing Planet. A New Scientist Guide*, Oxford, Blackwell.
- GRINEVALD, Jacques (1975), «Science et développement: esquisse d'une approche socio-épistémologique», *La pluralité des mondes*, Cahiers de l'I.E.D. 1, Genève, Paris, PUF, pp.31-97.
- GRINEVALD, Jacques (1976), «La révolution carnotienne: thermodynamique, économie et idéologie», *Revue européenne des sciences sociales et Cahiers Vilfredo Pareto*, 36: 39-79.
- GRINEVALD, Jacques (1977), «Révolution industrielle, technologie de la puissance et révolutions scientifiques», *La fin des outils*, Cahiers de l'I.U.E.D. 5, Genève, Paris, PUF, pp.147-202.
- GRINEVALD, Jacques (1980), «Le sens bioéconomique du développement humain: l'affaire Nicholas Georgescu-Roegen», *Revue européenne des sciences sociales et Cahiers Vilfredo Pareto*, 51: 59-75.
- GRINEVALD, Jacques (1981), *Le développement et la révolution carnotienne*, Rio de Janeiro, Universidade federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, PDD 03-81.
- GRINEVALD, Jacques (1982), «La thermodynamique, la révolution industrielle et la révolution carnotienne», colloque «Thermodynamique et sciences de l'homme», *Entropie*, no. hors série, pp.21-32.
- GRINEVALD, Jacques (1984a), «Entropologie: le catastrophisme en perspective», *Crise et chuchotements*, Cahiers de l'I.U.E.D. 15, Genève, Paris, PUF, pp. 165-195.
- GRINEVALD, Jacques (1984b), *Les dimensions historiques et culturelles de la problématique énergétique en Europe*, Ispra, Commission of the European Communities, Joint Research Centre, Ispra Courses: «Energy Planning and Management: Experience in Europe and Advanced Developing Countries», EPM/84/2.
- GRINEVALD, Jacques (1986), «L'histoire des sciences et la raison d'Etat», in *La science et la guerre*, Bruxelles, Dossier GRIP, no 97-98-99, pp.31-67.
- GRINEVALD, Jacques (1987a), «Le développement de/dans la biosphère», *L'homme inachevé*, Cahiers de l'I.U.E.D. 17, Genève, Paris, PUF, pp.29-44.
- GRINEVALD, Jacques (1987b), «On a holistic concept for deep and global ecology: The Biosphere», *Fundamenta Scientiae*, 8(2): 197-226.
- GRINEVALD, Jacques (1988) «Sketch for the history of the idea of the Biosphere», in P. Bunyard et E. Goldsmith, eds., *Gaia, the Thesis, the Mechanisms, and the Implications*, Camelford, Cornwall, U.K., Wadebridge Ecological Centre, pp.1-34.
- GRINEVALD, Jacques (1989a), «Safeguarding the Biosphere», *Peace Review*, 1(2): 27-32.
- GRINEVALD, Jacques (1989b), *The Industrial Revolution and the Earth's Biosphere: A Scientific Awareness in Historical Perspective*. Selective bibliographical notes. Paper delivered at ProClim Workshop 4, Berne, Swiss Academy of Science, Genève, IUED.
- GRINEVALD, Jacques (1990), «A propos de la naissance de l'écologie», *La Bibliothèque naturaliste*, Centre de documentation éco-philosophique, Sigoyer, F-04200 Sisteron, 10: 5-12.
- GRUBB, Michael (1989), *The Greenhouse Effect: Negotiating Targets*, London, Royal Institute of International Affairs.
- 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, The Greenhouse Effect and Global Climate Change, Hearing, June 23, 1988, 100th Cong., 1st sess., 1988, pt.2, pp.42-49.
- HANSEN, J. *et al.* (1981), «Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide», *Science*, 213: 957-966.
- HANSEN, J. et S. LEBEDEFF (1987), «Global trends of measured surface air temperature», *Journal of Geophysical Research*, 92: 13345-13372.
- HANSEN, J. (1988), «Global surface air temperature: update through 1987», *Geophysical Research Letters*, 15: 323-326.
- HARVEY, Danny (1989), «Managing atmospheric CO₂», *Climatic Change*, 15: 343-381.
- HENNICKE, Peter et Michael MÜLLER (1989), *Die Klima-Katastrophe*, Vorwort von Willy Brandt, Bonn, Dietz.
- HERSTRA, Gjerrit (1989), «Global warming and rising sea levels: the policy implications», *The Ecologist*, 19(1): 4-15.
- HOLDREN, John et Paul EHRLICH, eds. (1971), *Global Ecology*, New York, Harcourt Brace Jovanovich.
- HOUGHTON, Richard (1987), «Biotic changes consistent with the increased seasonal amplitude of atmospheric CO₂ concentrations», *Journal of Geophysical Research*, 92: 4223-4230.
- HOUGHTON, R. *et al.* (1983), «Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere», *Ecological Monographs*, 53: 235-262.
- HOUGHTON, R. et George WOODWELL (1989), «Le réchauffement de la Terre», *Pour la Science*, 140: 22-29.
- HOURCADE, Jean-Claude, Gérard MEGIE, Jacques THEYS (1989a), «Le bouleversement des climats. Comment gérer l'incertitude», *Futuribles*, 132: 3-19.
- HOURCADE, Jean-Claude, Gérard MEGIE, Jacques THEYS (1989b), «Politiques énergétiques et risque climatiques. Comment gérer l'incertitude?», *Futuribles*, 135: 35-60.
- HUTCHINSON, George Evelyn (1948), «On Living In The Biosphere», *Scientific Monthly*, 67: 383-398.

- HUTCHINSON, George Evelyn (1965), «The Biosphere or volume in which organisms actually live», in *The Ecological Theater and the Evolutionary Play*, New Haven, Yale University Press, chap.1, pp.1-26.
- HUTCHINSON, G.E. et al. (1970), *The Biosphere*, A Scientific American Book, San Francisco, Freeman. [Scientific American, no special, 223(3), septembre 1970.]
- ICSU (1986a), *Symposium on Consequences of Nuclear War*, 16 September 1986, Berne, Switzerland, Paris, ICSU.
- ICSU (1986b), *The International Geosphere Biosphere Programme: A Study of Global Change*, final report prepared for the 21st General Assembly, Berne, September 14-19, 1986, Paris, ICSU.
- ISO, Sherwood B. (1985), «The search for global CO₂ etc. «greenhouse effects», *Environmental Conservation*, 12(1): 29-35.
- ISO, S. (1989), *Carbon Dioxide and Global Change: Earth in Transition*, Tempe, Arizona, Institute for Biospheric Research Press.
- JÄGER, Jill (1986), «Climatic change: Floating new evidence in the CO₂ debate», *Environment*, 28(7): 6-9, 38-41.
- JÄGER, Jill (1988), «Anticipating climatic change», *Environment*, 30(7): 12-15, 30-33.
- JÄGER, Jill, ed. (1983), *Climate and Energy Systems: Review of Their Interactions*, Chichester, Wiley.
- JÄGER, Jill, ed. (1988), *Developing Policies for Responding to Climatic Change*, Stockholm, Royal Swedish Academy of Sciences, The Beijer Institute. [et Genève, OMM, WMO/TD-No.225.]
- JONES, Philip (1990), «Le climat des milles dernières années», *La Recherche*, 219: 304-312.
- KANDEL, Robert (1990), *Le devenir des climats*, Paris, Hachette.
- KATES, Robert et al. (1985), *Climate Impact Assessment. Studies of the Interaction of Climate and Society*, SCOPE 27, Chichester, Wiley.
- KEEPIN, Bill (1986), «Review of global energy and carbon dioxide projections», *Annual Review of Energy*, 11: 357-392.
- KEEPIN, Bill (1988), *Greenhouse Warming: Efficient Solution or Nuclear Nemesis?*, Snowmass, Colorado, Rocky Mountain Institute.
- KEEPIN, Bill et Gregory KATS (1988a), *Greenhouse Warming: A Rationale for Nuclear Power?*, Snowmass, Colorado, Rocky Mountain Institute.
- KEEPIN, Bill et Gregory KATS (1988b) «Greenhouse warming: comparative analysis of nuclear and efficiency abatement strategies», *Energy Policy*, 16(6): 538-561.
- KELLOGG, William (1978), «Is mankind warming the Earth?», *Bulletin of the Atomic Scientist*, 34: 10-19.
- KELLOGG, William (1979), «Influence on mankind on climate», *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 7: 63-92.
- KELLOGG, William (1987), «Mankind's impact on climate: the evolution of an awareness», *Climatic Change*, 10(2): 113-136.
- KELLOGG, W. et Margaret MEAD, eds. (1977), *The Atmosphere: Endangered and Endangering*, Washington, D.C., National Institutes of Health, Fogarty International Center Proceedings no.39, publication no.NIH 77-1065. (éd. anglaise: London, Castle House Publications, 1980.)
- KELLOGG, W. et R. SCHWARTZ (1981), *Climatic Change and Society: Consequences of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide*, Boulder, Colorado, Westview Press.
- KELLOGG, W. et R. SCHWARTZ (1982), «Society, science and climate change», *Foreign Affairs*, 60: 1076-1109.
- KERR, Richard (1986), «Greenhouse warming still coming», *Science*, 232: 573-574.
- KERR, Richard (1988), «Is the greenhouse here?», *Science*, 239: 559-561.
- KONDRATYEV, K. Ya. (1988), *Climate Shocks: Natural and Anthropogenic*, trad. du russe, New York, Wiley.
- LACIS, A. et al. (1981), «Greenhouse effect of trace gases, 1970-1980», *Geophysical Research Letters*, 8: 1035-1038.
- LAMB, Hubert (1984), «The future of the Earth; greenhouse or refrigerator?», *Journal of Meteorology*, 9(92): 237-242. [rééd. in *Weather, Climate and Human Affairs*, London, Routledge, 1988.]
- LAMBERT, Gérard (1987), «Le gaz carbonique dans l'atmosphère», *La Recherche*, 89: 778-787.
- LAPO, Andrei V. (1987), *Traces of Bygone Biospheres*, trad. du russe, Moscou, Mir, (1982) 2^e éd.
- LOGAN, J., M. PRATHER, C. WOFSEY, et M. McELROY (1978), «Atmospheric chemistry: response to human influence», *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 290: 187-234.
- LOGAN, J., M. PRATHER, C. WOFSEY, et McELROY (1981), «Tropospheric chemistry: a global perspective», *Journal of Geophysical Research*, 86(C8): 7210-7254.
- LORIUS, Claude et Jean-Claude DUPLESSY (1977), «Les grands changements climatiques», *La Recherche*, 83: 947-955.
- LOVELOCK, James (1972), «Gaia seen through the atmosphere», *Atmospheric Environment*, 6: 579-580.
- LOVELOCK, James (1985), «Are we destabilising world climate? The lessons of geophysiology», *The Ecologist*, 15(1-2): 52-55.
- LOVELOCK, James (1986a), *La Terre est un Etre vivant. L'hypothèse gaïa*, traduit de l'anglais [Gaia: A New Look at Life on Earth, Oxford University Press, 1979, 2^e éd., 1987], Monaco, Le Rocher.
- LOVELOCK, James (1986b), «Geophysiology: a new look at earth science», *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67(4): 392-397.
- LOVELOCK, James (1990) *Les Ages de Gaïa*, trad. de l'anglais (The Age of Gaia: A Biography of Our Living Earth, 1988), Paris, Robert Laffont.
- LOVELOCK, J. et L. MARGULIS (1974a), «Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia Hypothesis», *Tellus*, 26: 1-10.
- LOVELOCK, J. et Andrew WATSON (1982), «The regulation of carbon dioxide and climate: Gaia or geochemistry», *Planetary and Space Sciences*, 30 (8): 795-802.
- LOVINS, Amory (1975), *Stratégies énergétiques planétaires*, trad. de l'anglais, Paris, Christian Bourgois.
- LOVINS, Amory (1977), *Soft Energy Paths: Toward a Durable Peace*, Harmondsworth, Penguin Books.
- LOVINS, Amory (1989), «Energy, people, and industrialization», in OCDE, *Energy Technologies for Reducing Emissions of Greenhouse Gases*, vol.2, pp.301-326.
- LOVINS, A., L.H. LOVINS, F. KRAUSE et W. BACH (1981), *Least-Cost Energy: Solving the CO₂ Problem*, Andover, Mass., Brick House.
- MALONE, Thomas et Juan G. ROEDERER, eds. (1985), *Global Change*, ICSU Press, Cambridge, Cambridge University Press.
- MARGULIS, Lynn et James LOVELOCK (1974), «Biological modulation of the Earth's atmosphere», *Icarus*, 21: 471-489.
- MARGULIS, Lynn et James LOVELOCK (1980), «L'atmosphère est-elle le système circulaire de la biosphère? l'hypothèse Gaïa», *CoEvolution*, 1: 20-31.
- MARGULIS, L. et Dorion SAGAN (1989), *L'univers bactériel*, traduit de l'anglais (1987), Paris, Albin Michel.
- McELROY, Michael (1976), «Chemical processes in the solar system: a kinetic perspective», *Chemical Kinetics. International Review of Science, Physical Chemistry*, 9: 127-211.
- McELROY, Michael (1983a), «Atmosphere composition: influence of biology», *Planetary and Space Sciences*, 31(9): 1065-1074.
- McELROY, Michael (1983b), «Marine biology controls on atmospheric CO₂ and climate», *Nature*, 302: 328-329.
- McELROY, Michael (1987), «Life on Earth: lessons from the past, challenge for the future», in Nicholas Polunin et Sir John Burnett, eds., *Maintenance of The Biosphere. Proceedings of the Third International Conference on Environmental Future*, Edinburgh, 24-26 septembre 1987, Edinburgh, Edinburgh University Press, à paraître.
- McELROY, Michael (1988), «The challenge of global change», *New Scientist*, 119: 34-36. [texte complet in Toronto Conference: Ferguson, ed.(1988)]
- McELROY, M., (1983), *Global Change: A Biogeochemical Perspective*, NASA, Pasadena, California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory.
- McKIBBEN, Bill (1990), *La nature assassinée*, trad. de l'américain (The End of Nature, 1989), Paris, Fixot.

- MEGIE, Gérard (1989), *Ozone: l'équilibre rompu*, Paris, Presses du CNRS.
- MEYER, François (1974), *La Surchauffe de la croissance. Essai sur la dynamique de l'évolution*, Paris, Fayard.
- MIELKE, Howard Walter (1989), *Patterns of Life: Biogeography of a changing world*, Boston, Unwin Hyman.
- MINTZER, Irving (1987), *A Matter of Degrees: The Potential for Controlling the Greenhouse Effect*, Washington, D.C., World Resources Institute.
- MOORE, Berrien et M.N. DASTOOR, eds. (1984), *The Interaction of Global Biogeochemical Cycles*, NASA, Pasadena, California Institute of Technology, JPL Publication 84-21.
- MOORE, Berrien et Bert BOLIN (1987), «The oceans, carbon dioxide, and global climate change», *Oceanus*, 29(4): 9-15.
- MUELLER, Robert (1971), *Thermodynamics of Environmental Degradation*, NASA, Greenbelt, Maryland, Goddard Space Flight Center.
- MUELLER, Robert (1972), *Energy in the Environment and the Second Law of Thermodynamics*, NASA, Greenbelt, Maryland, Goddard Space Flight Center.
- MYERS, Norman (1984), *The Primary Source: Tropical Forests and Our Future*, New York, Norton.
- MYERS, Norman (1988), «Tropical deforestation and climatic change», *Environmental Conservation*, 15(4): 293-298.
- NAS [NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES] (1987), *Current Issues in Atmospheric Change*, Washington, D.C., National Academy Press.
- NASA (1988), *Earth System Science: A Closer View*, Earth System Science Committee, NASA Advisory Council, Washington, D.C., National Aeronautics and Space Administration.
- NASH, Hugh, ed. (1979), *The Energy Controversy: Soft Path Questions and Answers, by Amory Lovins and his critics*, San Francisco, Friends of the Earth.
- NIERENBERG, William et al. (1989), *Scientific Perspectives on the Greenhouse Problem*, Washington, D.C., Marshall Institute.
- NORDHAUS, William (1977), «Economic growth and climate: the carbon dioxide problem», *American Economic Review*, 67: 341-346.
- NRC [NATIONAL RESEARCH COUNCIL] (1977), *Energy and Climate*, Geophysics Study Committee, Washington, D.C., National Academy Press.
- NRC (1981), *Atmosphere-Biosphere Interactions: Toward a Better Understanding of the Consequences of Fossil Fuel Combustion*, Washington, D.C., National Academy Press.
- NRC (1983a), *Changing Climate*, Carbon Dioxide Assessment Committee, Washington, D.C., National Academy Press.
- NRC (1983b), *Toward an International Geosphere-Biosphere Program. A Study of Global Change*, Washington, D.C., National Academy Press.
- NRC (1984), *Global Tropospheric Chemistry. A Plan for Action*, Washington, D.C., National Academy Press.
- NRC (1986), *Global Change in the Geosphere-Biosphere. Initial Priorities for an IGBP*, Washington, D.C., National Academy Press.
- NRC (1988), *Toward an Understanding of Global Change*, Washington, D.C., National Academy Press.
- NRC (1989) *Ozone Depletion, Greenhouse Gases, and Climate Change*, Washington, D.C., National Academy Press.
- NRDC [Natural Resources Defense Council] (1989), *Cooling the Greenhouse*, Washington, D.C., Natural Resources Defense Council.
- OCDE (1989), *Energy Technologies for Reducing Emissions of Greenhouse Gases*, (Proceedings of an Experts' Seminar, International Energy Agency, OCDE, Paris, 12-14 avril 1989), Paris, OCDE, 2 vols.
- ODUM, Eugene (1971), *Fundamentals of Ecology*, Philadelphia, Saunders, (3^e éd.).
- ODUM, Eugène (1976), *Ecologie*, trad. de l'américain (1975), Montréal, Les Éditions HRW Ltée, Paris, Doin.
- ODUM, Eugène (1983), *Basic Ecology*, Philadelphia, Holt-Saunders.
- ODUM, Eugène (1989), *Ecology and Our Endangered Life-Support Systems*, Sunderland, Mass. Sinauer.
- ODUM, Howard (1971), *Environment, Power and Society*, New York, Wiley-Interscience.
- OSBORN, Fairfield (1949), *La planète au pillage*, trad. de l'américain (Our Plundered Planet, 1948), Paris, Payot.
- PATRSKY, Ben (1988), «Dirtying the infrared window», *Mosaic* [National Science Foundation], special double issue «Global Change», 19(3-4): 24-37.
- PEARCE, Fred (1989a), «Politics in the greenhouse», *New Scientist*, 22 avril, 1661: 33-34.
- PEARCE, Fred (1989b), «Methane: the hidden greenhouse gas», *New Scientist*, 6 mai: 37-41.
- PEARCE, Fred (1989c), *Turning Up the Heat: Our Perilous Future in the Global Greenhouse*, London, The Bodley Head.
- PEARMAN, Graeme et P. Hyson (1980), «Activities of the global biosphere as reflected in atmospheric CO₂ records», *Journal of Geophysical Research*, 85: 4457-4467.
- PETERS, R.L. et J.D.S. DARLING (1985), «The greenhouse effect and nature reserve», *Bioscience*, 35: 707-715.
- PETERSON, E.K. (1969), «Carbon dioxide affects global ecology», *Environmental Science and Technology*, 3: 1162-1169.
- PETITJEAN, Armand, ed. (1974), *Quelles limites? Le Club de Rome répond...*, Paris, Seuil.
- PHILIBERT, Cédric (1990), *La Terre brûle-t-elle? L'effet de serre et le réchauffement de la planète*, Paris, Calmann-Lévy.
- PIMENTEL, David et Marcia (1979), *Food, Energy and Society*, London, Edward Arnold.
- PITTOCK, A. Barrie (1987), «The carbon dioxide debate: reports from SCOPE and DOE», *Environment*, 29(1): 25-30.
- PLASS, Gilbert (1956), «The carbon dioxide theory of climatic change», *Tellus*, 8: 140-154.
- POLUNIN, Nicholas (1972), «The Biosphere today», in N. Polunin, ed., *The Environmental Future*, London, Macmillan, New York, Barne & Noble, pp.33-52.
- POLUNIN, Nicholas (1982), «Our global environment and the world campaign for The Biosphere», *Environmental Conservation*, 9(2): 115-121.
- POLUNIN, Nicholas (1984), «Genesis and progress of the World Campaign and Council For The Biosphere», *Environmental Conservation*, 11(4): 293-298.
- POLUNIN, Nicholas (1987), «Energy-use and The Biosphere», *Environmental Conservation*, 14(1): 4-5.
- POLUNIN, Nicholas, ed. (1972), *The Environmental Future*, London, Macmillan.
- POLUNIN, Nicholas, ed. (1980), *Growth without Ecodisasters?*, London, Macmillan.
- POLUNIN, Nicholas et Jacques GRINEVALD (1988), «Vernadsky and Biospherical Ecology», *Environmental Conservation*, 15(2): 117-122.
- PUESCHEL, Rudolf (1986), *Man and the Composition of the Atmosphere*, Genève, UNEP-OMM.
- RAMADE, François (1981), *Ecologie des ressources naturelles*, Paris, Masson.
- RAMADE, François (1984), *Éléments d'écologie: écologie fondamentale*, Paris, McGraw-Hill.
- RAMADE, François (1987), *Les Catastrophes écologiques*, Paris, McGraw-Hill.
- RAMADE, François (1989), *Éléments d'écologie: écologie appliquée*, Paris, McGraw-Hill. (4^e éd.)
- RAMANATHAN, Veerhabadrhan (1975), «Greenhouse effect due to chlorofluorocarbons: climatic implications», *Science*, 190: 50-52.
- RAMANATHAN, V. et al. (1985), «Trace gas trends and their potential role in climate change», *Journal of Geophysical Research*, 90(D3): 5547-5566.
- RAMANATHAN, V. (1988), «The greenhouse theory of climate change: a test by an inadvertent global experiment», *Science*, 240: 293-299.
- RAMANATHAN, V. et al. (1989a) «Cloud-radiative forcing and climate: results from the Earth radiation budget experiment», *Science*, 243: 57-63.
- RAMANATHAN, V. et al. (1989b), «Climate and the Earth's radiation budget», *Physics Today*, 42(5): 22-32.

- RAMBLER, Mitchell, Lynn MARGULIS, René FESTER, eds. (1989), *Global Ecology: Towards a Science of the Biosphere*, Boston, Academic Press.
- RAVAL, A. et V. RAMANATHAN (1989), «Observational determination of the greenhouse effect», *Nature*, 342: 758-761.
- RENS, Ivo et J. GRINEVALD (1975), «Réflexions sur le catastrophisme actuel», in *Pour une Histoire Qualitative: Etudes offertes à Sven Stelling-Michaud*, Genève, Presses universitaires romandes, pp.283-321.
- RENS, Ivo et J. GRINEVALD (1979), «Jalons pour une historiographie de l'écologie politique», *Cadmos*, 5: 18-26.
- REVELLE, Roger (1982), «Le gaz carbonique et le climat», *Pour la science*, 60: 80-91.
- REVELLE, R. et Donald SHAPERO (1978), «Energy and Climate», *Environmental Conservation*, 5(2): 81-91.
- RICHARDS, J.F. (1986), «World environmental history and economic development», in W. Clark et R. Munn, eds., *Sustainable Development of the Biosphere*, Laxenburg, IASA, Cambridge, Cambridge University Press, pp.53-71.
- RIFKIN, Jeremy with Ted HOWARD (1989), *Entropy Into the Greenhouse World*, afterword by Dr. Nicholas Georgescu-Roegen, revised edition, New York, Bantam Books.
- ROGNON, Pierre (1981), «Les crises climatiques», *La Recherche*, 128: 1354-1364.
- ROSE, D.J., M.M. MILLER et C. AGNEW (1984), «Reducing the problem of global warming», *Technology Review*, 83(7): 49-58.
- ROSENBERG, Norma, et al., eds. (1989), *Greenhouse Warming: Abatement and Adaptation*, Washington, D.C., Resources for the Future.
- ROSENZWEIG, Cynthia et Robert DICKINSON, eds. (1986), *Climate-Vegetation Interactions*, Boulder, Colorado, UCAR, Office for Interdisciplinary Earth Studies, Report OIES- 2.
- ROUGERIE, Gabriel (1988), *Géographie de la Biosphère*, Paris, Armand Colin.
- ROWLAND, F. Sherwood (1988), «Chlorofluorocarbons, stratospheric ozone, and the Antarctic «ozone hole», *Environmental Conservation*, 15(2): 101-115.
- ROWLAND, F.S. et I.S.A. ISAKSEN, eds. (1988), *The Changing Atmosphere*, Report of the Dahlem Workshop on The Changing Atmosphere, Berlin 1987, November 1-6, Chichester, Wiley.
- SCHELL, Jonathan (1982), *Le Destin de la Terre*, de l'américain, Paris, Albin Michel.
- SCHNEIDER, Stephen (1986), «A goddess of the Earth? The debate on the Gaia hypothesis: an editorial», *Climatic Change*, 8(1): 1-4.
- SCHNEIDER, Stephen (1988), «The greenhouse effect and the U.S. summer of 1988: cause and effect or a media event? — an editorial», *Climatic Change*, 13: 113-116.
- SCHNEIDER, Stephen (1989a), «Le changement des climats», *Pour la science*, 145: 46-54.
- SCHNEIDER, Stephen (1989b), «The greenhouse effect: science and policy», *Science*, 243: 771-781.
- SCHNEIDER, Stephen (1989c), *Global Warming: Are We Entering the Greenhouse Century?*, San Francisco, Sierra Club Books.
- SCHNEIDER, S., P. BOSTON et G. SHAW, eds., *Proceedings of the Gaia Hypothesis Conference*, American Geophysical Union Chapman Conference, San Diego, 7-11 mars 1988, à paraître.
- SCHNEIDER, S. et R.D. DENNETT (1975), «Climatic barriers to long-term energy growth», *Ambio*, 4: 56-74.
- SCHNEIDER, S. et Randi LONDER (1984), *The Coevolution of Climate and Life*, San Francisco, Sierra Club Books.
- SEIDEL, S. et D. KEYES (1983), *Can We Delay a Greenhouse Warming?*, Washington, D.C., Environmental Protection Agency.
- SERAFIN, Rafal (1988), «Noosphere, Gaia, and the Science of the Biosphere», *Environmental Ethics*, 10: 121-137.
- SERRES, Michel (1989), «La philosophie et le climat», in *Pollution, atmosphère et climat*, colloque de Lassay, Paris, Larousse, pp.50- 61.
- SERRES, Michel (1990), *Le contrat naturel*, Paris, François Bourin.
- SIMMONS, I.G. (1981), *The Ecology of Natural Resources*, London, Edward Arnold, (1974), 2^e éd.
- SINGER, S. Fred, ed. (1975), *The Changing Global Environment*, Dordrecht, Reidel.
- SMIL, Vaclav (1985), *Carbon, Nitrogen, Sulfur: Human Interferences in Grand Biospheric Cycles*, New York, London, Plenum Press.
- SOUTHWICK, Charles, ed. (1985), *Global Ecology*, Suderland, Mass., Sinauer.
- SPASH, Clive L. et Ralph C. d'ARGE (1989), «The greenhouse effect and intergenerational transfers», *Energy Policy*, 17(2): 88-96.
- STEINHART, Carol et John STEINHART (1974), *Energy: Sources, Use and Role in Human Affairs*, North Scituate, Mass., Duxbury Press.
- THOMAS, Lewis (1984), «Scientific frontiers and national frontiers: a look ahead», *Foreign Affairs*, 62(4): 966-994.
- TICKELL, Crispin (1977), *Climate Change and World Affairs*, Cambridge, Mass., Harvard University, Center for International Affairs.
- TITUS, James, ed. (1986), *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Change*, Washington, D.C., UNEP and U.S. Environmental Protection Agency, vol.1, Overview. (4 vols.)
- TRABALKA, John (1985), *Atmospheric Carbon Dioxide and the Global Carbon Cycle*, Springfield, Virginia, U.S. Department of Energy, DOE/ER-0239.
- TRABALKA, J. et David REICHLE, eds. (1986), *The Changing Carbon Cycle: A Global Analysis*, New York, Springer-Verlag.
- UNEP (1987), *The Greenhouse Gases*, (ed. Robin Clarke), Nairobi, United Nations Environment Programme, UNEP/GEMS Environment Library No 1.
- VALLENTYNE, John, J. STRICKLER et N. POLUNIN (1980), «Proposal: International Year of The Biosphere», *Environmental Conservation*, 7(1): 2.
- VERNADSKY, Vladimir (1924), *La Géochimie*, Paris, Félix Alcan.
- VERNADSKY, Vladimir (1925) «L'autotrophie de l'humanité», *Revue générale des sciences*, 36: 495-502.
- VERNADSKY, Vladimir (1929), *La Biosphère*, Paris, Félix Alcan.
- VERNADSKY, Vladimir (1944) «Problems of Biogeochemistry», *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 35: 483- 517.
- VERNADSKY, Vladimir (1945a) «The Biosphere and the Noosphere», *American Scientist*, 33(1): 1-12.
- VERNADSKY, Vladimir (1945b), «La biogéochimie», *Scientia*, 77-78: 77-84.
- WANG, W. et al., (1976), «Greenhouse effects due to man-made perturbations of trace gases», *Science*, 194: 685-690.
- WAYNE, Richard P. (1985), *Chemistry of atmospheres: an introduction to the chemistry of the atmospheres of Earth, the planets, and their satellites*, Oxford, Clarendon Press.
- WAYNE (1988), «Origin and evolution of the atmosphere», *Chemistry in Britain*, 24(3): 225-230.
- WCRP [World Climate Research Programme] (1990), *Global Climate Change*, WMO-ICSU, Genève, OMM.
- WEINER, Jonathan (1986), *Planet Earth*, New York, Bantam.
- WEINER, Jonathan (1990), *The Next One Hundred Years: Shaping the Fate of our Living Earth*, New York, Bantam.
- WHITE, Lynn (1967), «The historical roots of our ecologic crisis», *Science*, 155: 1203-1207. [trad. fr.: Les racines historiques de notre crise écologique. Dossier établi par Jacques Grinevald, Paris, Editions Sang de la terre, à paraître.]
- WILLIAMS, Jill, ed. (1978), *Carbon Dioxide, Climate and Society*, Oxford, Pergamon Press.
- WILLIAMS, Robert et Eric LARSON (1987), «Materials, affluence, and industrial energy use», *Annual Review of Energy*, 1987, 12: 99-144.
- WMO (1981), *On the Assessment of the Role of CO₂ in Climate Variations and Their Impact*. Report of a Joint WMO/ICSU/UNEP Symposium, Villach, Austria, November 1980, Genève, OMM.

- WMO (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], Genève, OMM.
- WOIEKOF, Alexander Ivanovich (1901), «De l'influence de l'homme sur la terre», *Annales de Géographie*, 50: 97-114; 51: 193-215.
- WOLKOMIR, Richard (1988), «The greenhouse revolution», *Oceans*, 21(2): 17-20.
- WOOD, William B., George J. DEMKO et Phyllis MOFSON (1989), «Eco-politics in the global greenhouse», *Environment*, 31(7): 12-17, 32-34.
- WOODWELL, George (1978), «Le problème du gaz carbonique», *Pour la Science*, 5: 12-22.
- WOODWELL, G. et al. (1983), «Global deforestation: contribution to atmospheric carbon dioxide», *Science*, 222: 1081-1086.
- WOODWELL, G. et al. (1987), «The biota and world carbon budget», *Science*, 199: 141-146.
- WOODWELL, G. et Erene V. PECAN, eds. (1973), *Carbon and the Biosphere*, Springfield, Virginia, US Atomic Energy Commission, Technical Information Center, Office of Information Services.
- WORSTER, Donald (1977), *Nature's Economy: The Roots of Ecology*, San Francisco, Sierra Club Books. [2^e éd.: *Nature's Economy: A History of Ecological Ideas*, Cambridge, Cambridge University Press, 1985. Trad. fr.: Paris, Sang de la terre, à paraître.]
- WRI (1987), *World Resources 1987*. A Report by the World Resources Institute and the International Institute for Environment and Development, New York Basic Book.
- WRI (1988-1989), *World Resources 1988-1989*. An Assessment of the Resource Base that Supports the Global Economy, World Resources Institute, International Institute for Environment and Development, in collaboration with UNEP, New York Basic Book.

La contribution du gaz carbonique au changement climatique

par Dr h.c. R.A. STRUB

INTRODUCTION

Il y a cent ans déjà, le chimiste suédois, S. Arrhenius, et un géologue américain, T.C. Chamberlin, indépendamment l'un de l'autre, avaient émis l'hypothèse qu'une concentration plus élevée de gaz carbonique (CO_2) dans l'atmosphère pourrait avoir des conséquences climatiques. Depuis, de nombreuses études sont apparues dans le but de mettre en lumière les conséquences qui découleraient d'une telle hypothèse.

Or, bien que des mesures de températures et de concentrations de CO_2 dans l'atmosphère aient été réalisées depuis quelques décennies, il s'avère que le problème posé est extrêmement difficile à résoudre. En effet, vu sa complexité, il est fort hasardeux d'essayer d'établir une corrélation entre la concentration de CO_2 dans l'atmosphère et son influence sur le climat. De nombreux modèles de simulation, faisant intervenir les processus complexes d'échanges thermiques et de masses, ont été conçus en s'efforçant de les ajuster à la trop courte période d'observation, dans l'espoir d'obtenir un modèle propre à l'extrapolation dans le futur. Un tel espoir n'est, malheureusement, pas encore une réalité, car les spécialistes en sont toujours au stade préliminaire, d'autant plus que dans un passé lointain des variations de températures liées à des changements de climat importants sont apparues, sans qu'une corrélation claire avec la teneur en CO_2 de l'atmosphère ait pu être établie. Plus les congrès internationaux se multiplient, plus les spécialistes semblent douter d'une influence marquée du CO_2 sur le climat terrestre.

EFFET DE SERRE

Certains gaz dispersés dans l'atmosphère, tels que le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), les oxydes d'azote (NO_x), l'ozone (O_3), les fréons et la vapeur d'eau, ainsi que des traces de gaz rares, laissent passer en grande partie les radiations solaires de courte longueur d'onde, mais absorbent sélectivement les radiations infrarouges (chaleur) émises en retour par la surface de la terre. Ainsi, cette dernière et l'atmosphère qui l'entoure accusent une température qui est définie par l'équilibre thermique qui s'établit entre l'énergie solaire incidente et la perte de chaleur de la terre par rayonnement. Si la concentration des gaz à effet de serre augmente, il s'ensuit tout naturellement une augmentation de la température de la surface de la terre jusqu'à un nouvel équilibre thermique.

Sans l'effet de serre et l'atténuation des fluctuations de températures dus à l'atmosphère, la planète Terre serait quasi inhabitable. En effet, la température moyenne à la surface de la terre serait de -18°C , au lieu de $+15^\circ\text{C}$. Notons encore que le CO_2 n'est pas un gaz nocif et qu'il est absolument essentiel à la vie animale

et végétale comme matériau de base à partir duquel les matières organiques des plantes sont formées par photosynthèse.

Il est reconnu qu'une plus forte concentration de CO_2 active la photosynthèse et conduit à une croissance plus élevée des plantes. Entre 1959 et 1978, on estime une augmentation de 8% de la production de la biomasse.⁽¹⁾ Enfin, dans les régions aux hautes latitudes (Sibérie, Canada, Norvège, Suède), une température plus élevée induite par un effet de serre, permettrait d'allonger la période de croissance, rendant ainsi possible une augmentation de la production alimentaire par une augmentation de la surface cultivable.^(1,2)

PRODUCTION ET CYCLE DU CO_2

La génération de CO_2 est essentiellement de deux types: celui se rapportant à l'intervention humaine (anthropogène) et celui relevant du cycle naturel du CO_2 . Il est intéressant, afin de fixer les idées, de passer en revue ces deux aspects, mais en disant d'ores et déjà que la production de CO_2 anthropogène est extrêmement faible comparée aux quantités mises en jeu par le recyclage naturel ayant une constante de temps très élevée (inertie du système). Cette constatation est à l'origine de la difficulté majeure de définir clairement l'influence seule de la production anthropogène de CO_2 , car un déséquilibre extrêmement faible dans le processus de recyclage masquera complètement ce que l'on s'applique à définir.⁽²⁾

La quantité de CO_2 anthropogène, comme celle des autres sources, est généralement exprimée en masse équivalente de carbone, la masse de CO_2 étant facilement connue en multipliant cette valeur par le rapport des masses molaires, soit 44/12. En général, l'unité choisie est la Gtc (Gigatonne de carbone, soit 1 milliard de tonnes = 10^6 tonnes).

La production anthropogène de CO_2 due à la combustion des combustibles fossiles correspond à 5,3 Gtc, à laquelle il faut ajouter environ 3 Gtc dû au déboisement. La quantité de CO_2 résidant dans l'atmosphère est équivalente à 700 Gtc.

La Figure 1 montre le bilan des quantités de CO_2 exprimées en Gtc et donne les valeurs des gigantesques accumulations de carbone, sous diverses formes, sur la terre, ainsi que les intensités des échanges les plus importants.

La production anthropogène de CO_2 ne représente que 4% environ des valeurs totales échangées. L'augmentation de la teneur en CO_2 de l'atmosphère est actuellement de 1,3 ppm par an, ce qui correspond à 2,7 Gtc, donc à 1,3% des valeurs échangées seulement. On voit ainsi que l'accroissement du CO_2 dans l'atmosphère correspond à environ 50% de la production anthropogène, ou à 34% de la valeur moyenne de 8 Gtc comprenant aussi l'apport dû au déboisement suivi de l'oxydation de la

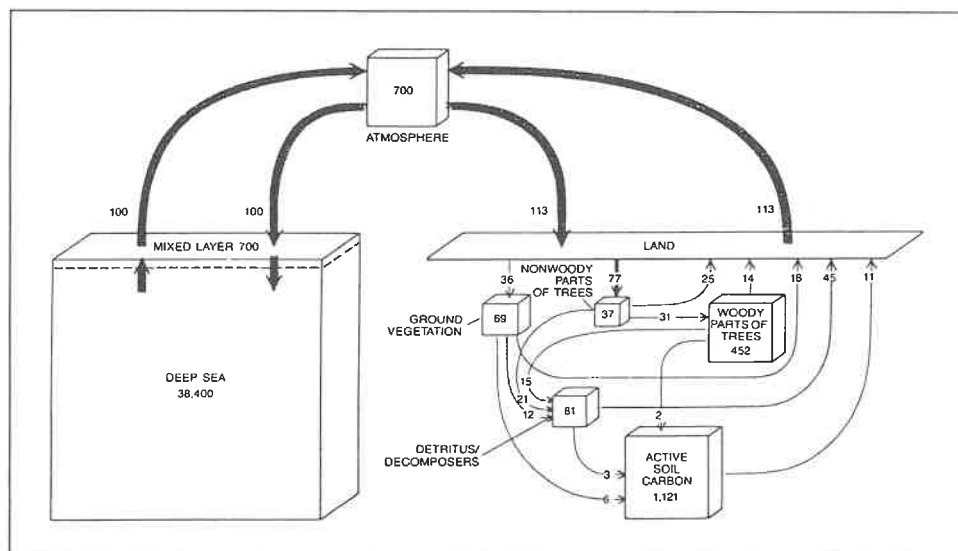


Figure 1: Cycle du carbone. Les flèches représentent les échanges. Les volumes représentent les quantités stockées dans la mer, dans le sol actif, dans les biomasses et dans l'atmosphère, en GtC.⁽⁶⁾

couche d'humus. L'humus et la tourbe localisent environ 2 000 GtC.

Le 40% du carbone accumulé dans les plantes se trouve dans les forêts tropicales et l'ensemble des forêts contient 90% du carbone fixé dans la biomasse végétale, océanique et terrestre, la quantité océanique étant, cependant, négligeable.^(1,3) Notons encore que les forêts localisent 10 à 20 fois plus de carbone que les surfaces cultivées.⁽⁵⁾ Le déboisement et la mort des forêts, l'accroissement des cultures riches en matières organiques et l'assèchement des marais contribuent d'une façon marquée à l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère.

Les plus grands réservoirs de carbone sont les océans qui en contiennent près de 40 000 GtC. Cependant, seule une couche superficielle d'environ 100 m de profondeur participe aux échanges avec l'atmosphère. Cette couche contient environ 600 GtC sous forme de carbonate et bicarbonate et les matières organiques (humus des océans) contiennent environ 3 000 GtC. Certains auteurs pensent que l'augmentation dans l'atmosphère du CO₂ par la biomasse est aussi importante que celle provenant de la combustion de combustibles fossiles.

La figure 5 montre l'accroissement de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère de l'hémisphère nord.

GAZ CARBONIQUE ET VARIATION DE LA TEMPÉRATURE

Reconnaissons que les spécialistes n'ont pas encore réussi à trouver une relation définie entre les variations de la température de l'atmosphère et la concentration du CO₂ et ceci dans le passé et le présent.

Des mesures concernant la concentration de l'isotope d'oxygène ¹⁸O par rapport à l'isotope ¹⁶O (de loin le plus abondant) par des sondages dans les sédiments des fonds marins permettent de conclure à des variations de la température de l'eau de mer et par là même à des changements de température atmosphérique en des temps très reculés. En effet, la molécule d'eau (H₂O) contenant l'isotope lourd ¹⁸O participe à un moindre degré à l'évaporation de l'eau que la molécule plus légère contenant l'isotope ¹⁶O, ce

qui augmente la concentration en eau plus lourde dans la mer, donc de l'oxygène ¹⁸O. Les squelettes des organismes marins sont composés de carbonate de calcium (Ca CO₃) contenant de l'oxygène. On retrouve donc la variation de la concentration dans les sédiments marins déposés en couches successives dans le temps. De cette variation de concentration, on en déduit logiquement des variations de température de l'eau de mer en surface. Des mesures analogues dans des carottes glaciaires ont conduit à des résultats semblables. Ainsi, les variations de température d'il y a des millénaires peuvent être estimées. Figures 2 et 3.⁽²⁾

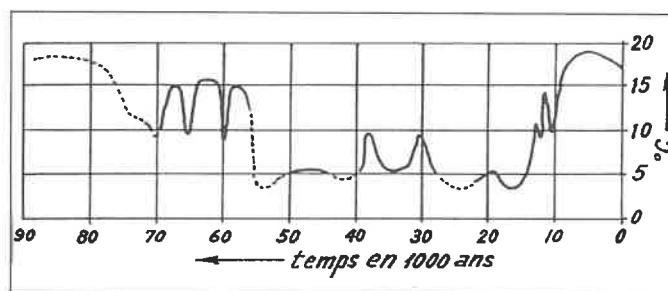
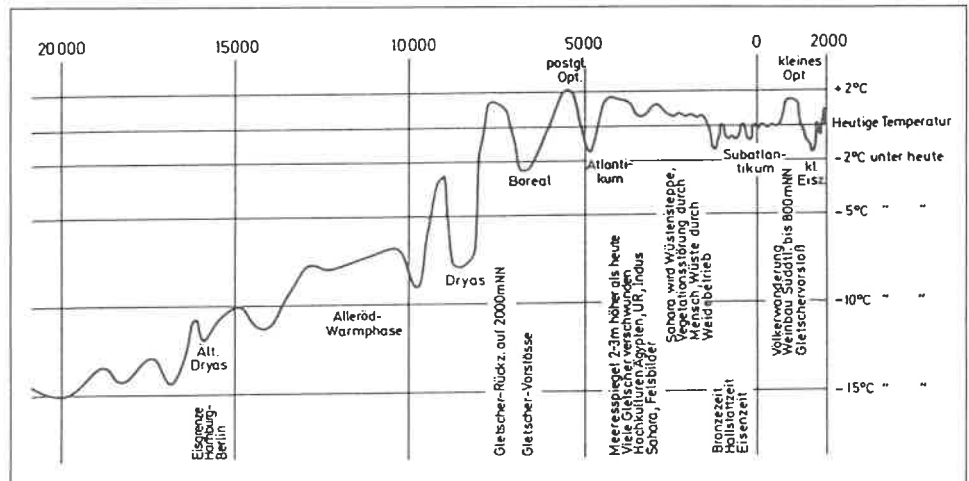


Figure 2: Fluctuations présumées des températures moyennes en juillet au nord-ouest de l'Europe pendant la dernière époque glaciaire (temps en 1 000 années avant aujourd'hui).

Les variations de température reproduites sur la Fig. 2 montrent clairement la période glaciaire d'il y a 20 000 ans. La Fig. 3 renseigne sur les variations de la température rapportées à la température globale moyenne d'aujourd'hui d'environ 15°C (zéro du graphique), et ceci depuis la dernière glaciation. La petite époque glaciaire située entre 1530 et 1850 environ est visible.⁽²⁾

En se reportant à la Fig. 4, reproduisant les mesures de température annuelle moyenne de l'hémisphère nord, on remarque que depuis 1880 jusqu'en 1940 environ, la moyenne des températures s'est élevée d'environ 0,7°C. A ce sujet, on a évoqué, entre autre, la plus grande transparence de l'atmosphère due à la plus faible activité volcanique. Depuis 1940 par contre, la température a chuté d'environ 0,4°C jusqu'en 1980 avec un relèvement jusqu'à nos jours. En même temps, dans l'Arctique et l'Atlantique subarc-

Figure 3: Variation de la température en Europe centrale depuis la dernière époque glaciaire, rapportée à la température d'aujourd'hui.



tique la glaciation sur la mer a augmenté et des conditions climatiques extrêmes sont intervenues dans le monde: sécheresses (Sahel), inondations dans les régions tropicales et subtropicales.⁽²⁾ De telles fluctuations climatiques échappent encore totalement à l'analyse des spécialistes, ainsi que l'interprétation des mouvements climatiques périodiques prouvés par l'analyse pollinique de sondages en tourbières, pour un passé éloigné, et les cerne des arbres, pour un passé plus récent.⁽²⁾

PRÉSENCE ET INFLUENCE D'AUTRES GAZ

La présence du gaz carbonique (CO_2) dans l'atmosphère n'est pas la seule cause possible d'une augmentation de la température. D'autres gaz tels que les oxydes d'azote (NO_x), l'ozone (O_3), l'oxyde de soufre (SO_2), le méthane (CH_4), les chlorofluorocarbones (Fréons) et la vapeur d'eau s'y trouvent en quantités non négligeables (voir Table I).

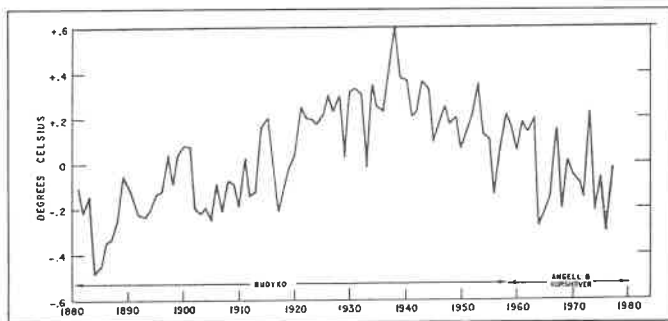


Figure 4: Variation de la température moyenne dans l'hémisphère nord.

Table I: Concentration des autres gaz les plus importants dans l'atmosphère (en ppm).

Ref. (7)	L'Atmosphère (en ppm)			
	CO (1-20) $\times 10^{-1}$	CH_4 1,2-1,5	H_4 0,4-1	O_3 (0-5) $\times 10^{-2}$
	N_2O (0,5-6) $\times 10^{-1}$	NO-NO_2 (0-3) $\times 10^{-3}$	O_2 20,93%	N_2 78,1%
	et des traces de gaz nobles, Ar, Ne, Xe, He, Kr et de Fréons			

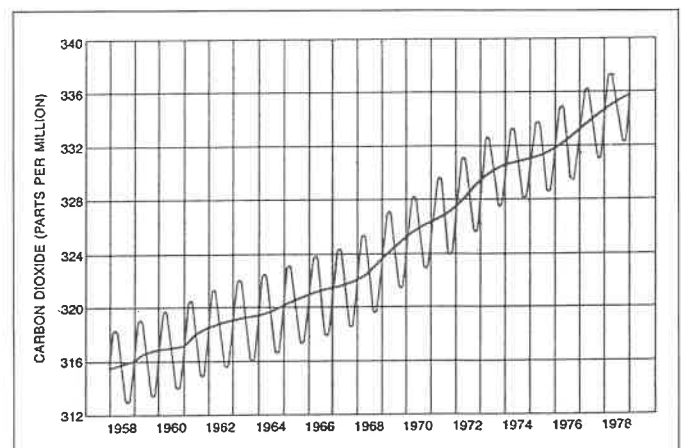


Figure 5: Concentration du gaz carbonique (en ppm) au sommet du Mauna Loa (Hawaii). Les fluctuations représentent l'absorption du CO_2 par les plantes (principalement de l'hémisphère nord) en été et l'oxydation des tissus végétaux en hiver. Aujourd'hui, la concentration atteint 340 ppm environ.

Les émissions globales dans l'atmosphère sont données dans la Table II.⁽⁷⁾

Notons encore que l'effet de la vapeur d'eau et des autres gaz dans l'atmosphère contribuerait, selon certains spécialistes, aux 2/3 de l'augmentation de température imputée à l'effet de serre. La production anthropogène de gaz influençant la biosphère n'est donc pas limitée au gaz carbonique.

Table II: Emissions globales (en millions de tonnes par an).

Ref. (7)	Nature	Anthropogène
	CO_2	485 000
	CO	5 000
	hydr. de C	2 600
	poussières + aérosols	3 700
	NO_2	770
	N_2O	592
	NH_3	1 160
	SO_2	650
	O_3	2 000
	Fréons	—
		0,8

La production de gaz tels que l'oxyde de soufre due principalement à la combustion de charbon et de pétrole, ainsi que d'oxyde d'azote lors de toute combustion, a un effet néfaste sur la flore, la faune et les hommes. En effet, ces oxydes augmentent l'acidité du sol et des lacs, surtout dans les régions dépourvues de calcaire neutralisant, ce qui contribue à la mort des lacs (Suède, lacs alpestres) et des forêts. Par ailleurs, les pluies acides modifient dangereusement la possibilité d'assimilation par les racines des plantes. La disparition d'une forte proportion de forêts, soit par le déboisement ou leur mort, libérerait des quantités énormes de gaz carbonique, puisque elles mobilisent environ 450 Gtc et retirent de l'atmosphère une quantité nette de 57 Gtc, annuellement par l'effet de photosynthèse, ce qui correspond à 209 milliards de tonnes de CO_2 . Les forêts tropicales, soumises hélas au déboisement inconsidéré, contiennent 190 Gtc, bien qu'elles ne recouvrent que le 28% de la surface des continents.⁽¹⁾ De ce fait, des changements de climat d'une ampleur probablement plus marquée que celle imputée au gaz carbonique sont à craindre.

Les oxydes d'azote (NO_x) et les chlorofluorocarbones (utilisés comme réfrigérants et agents propulseurs) ont des effets néfastes sur la couche d'ozone située en abondance surtout dans la stratosphère. Ces gaz peuvent être dissociés (photodissociation) et réagir avec l'ozone en provoquant sa destruction, ce qui aurait des conséquences extrêmement graves pour la vie à la surface de la terre, puisqu'il absorbe les rayons ultraviolets.^(2,13) Si la production de ces gaz continue au rythme actuel, il est estimé que la concentration au sol de 0,2 ppm augmentera à 2,7 ppm au milieu du siècle prochain, ce qui pourrait contribuer à un accroissement de température de l'ordre de 0,5°C.

POUSSIÈRES VOLCANIQUES

Les poussières volcaniques et même les fluctuations de l'activité solaire sont prises en considération pour expliquer certaines anomalies dans le relevé des températures de l'air durant les derniers cent ans, sans grand succès.^(5,8) Par exemple, certains climatologues pensent qu'une part de l'augmentation de température relevée sur l'hémisphère nord entre 1910 et 1940 provient de la disparition progressive de poussières volcaniques (aérosols) produites par l'intense activité volcanique entre 1480 et 1910 (Krakatoa 1883). Les mesures indiquent que l'effet de réflexion des radiations solaires par les particules volcaniques est plus élevé que l'absorption des radiations infrarouges émanant de la terre. Ces aérosols stratosphériques refroidissent ainsi la surface de la terre. J.E. Hansen de la NASA's Goddard Inst. of Space Studies a incorporé ces informations dans un modèle de climat afin de mieux reproduire la courbe des températures. Les éruptions du Mount St. Helens en mai 1980 et de El Chicón en avril 1982 devraient alors contribuer à un abaissement de la température de l'atmosphère, estimé à environ 0,5°C, ce qui semble contraire à la tendance à l'augmentation depuis 1980. Citons encore les radionucléides, particules radioactives en suspension dans l'atmosphère et dont les effets, encore mal connus, semblent avoir une importance non négligeable sur le climat terrestre.

INFLUENCE DES VARIATIONS DE L'ORBITE TERRESTRE ET DE L'INCLINAISON DE L'AXE DE ROTATION DE LA TERRE

Il est intéressant ici de mentionner les études faites entre 1920 et 1930 par Milankovitch concernant l'influence conjointe sur le

climat de la terre, de la variation de l'excentricité de l'orbite terrestre, déterminant la plus petite (périhélie) et la plus grande (aphélie) distance du soleil à la terre (cycle de 100 000 ans), de la direction de l'axe de la terre (cycle 20 000 ans, précession) et des fluctuations de direction (cycle 40 000 ans, mutation).⁽⁹⁾

Comme l'énergie reçue dans les régions polaires varie très sensiblement avec l'angle d'incidence des rayons solaires, de faibles écarts suffisent pour modifier le climat et expliquer les époques glaciaires. Les variations d'insolation en été des régions polaires, compte tenu des écarts dus aux causes citées plus haut, peuvent atteindre en effet 20%. Des mesures basées sur des sondages glaciaires et dans les sédiments des océans semblent soutenir ces hypothèses.

Pendant, ces variations sont trop lentes pour influencer les données du problème qui nous occupe ici.

MODÈLES DE SIMULATION

Il est généralement reconnu qu'une augmentation du niveau d'énergie thermique global de la biosphère se traduisant par une augmentation de la température de l'atmosphère pourrait avoir une certaine conséquence climatique.

Avec l'espoir de définir dans quelle mesure et de quelle nature seraient les changements climatiques, un grand nombre de modèles de simulation numérique ont été imaginés en les ajustant à des observations, hélas incomplètes et de trop courte durée.

Ces modèles de simulation devraient être en mesure de répondre à au moins quatre questions relatives à :

- a) la distribution des températures à la surface de la terre;
- b) la répartition des chutes de pluie;
- c) la répartition des activités de la biomasse;
- d) la variation du niveau des océans.

La nature intime et même globale des interactions et échanges entre les systèmes influençant le climat terrestre est encore mal connue. Ce manque de connaissances, auquel s'ajoute la complexité des systèmes qui devraient être considérés, comprenant la biosphère, les océans, la cryosphère, la troposphère et la stratosphère, dont les constantes de temps sont considérables, conduit nécessairement à des résultats dont les ordres de grandeur varient considérablement. Dans le cas d'un doublement de la concentration du CO_2 , l'augmentation de la température est estimée se situer entre 1° et 4°C. D'autre part, un expert estime une élévation de température globale de l'ordre de 5°C si toutes les réserves prouvées de combustibles fossiles étaient consommées jusqu'en l'an 2100, provoquant une augmentation de la concentration du CO_2 de 350 ppm (ppm = 1 cm³ de CO_2 dans 1 m³ d'air) à 1'350 ppm.⁽¹⁰⁾ La comparaison de ces valeurs montre le très grand degré d'incertitude.

A ce propos, la remarque de J.M. Mitchell Jr.⁽²⁾ reflétant aussi la pensée d'autres climatologues,^(4,5) est significative: «En parlant de climat comme système, force est de reconnaître que l'état de l'atmosphère à un moment donné ne peut pas être considéré d'une façon réaliste, isolé des autres parties de l'environnement terrestre auxquelles l'atmosphère est couplée par des échanges de chaleur et de masse et de quantité de mouvement. Pour cette raison, le système climatique doit inclure les masses de l'atmosphère, des océans, de la surface de la terre, de la neige, de la glace, ainsi que la vie biologique... La tâche du climatologue est

de construire un modèle reflétant le comportement du climat. Il n'apparaît pas clairement comment devrait être ce modèle et son degré de complexité physique, chimique et biologique pour contribuer à un projet aussi ambitieux.»

Il est clair qu'il sera toujours possible de suivre d'autant plus fidèlement une courbe quelconque de température que le nombre de termes et coefficients sera élevé. Ce qu'il reste à prouver, cependant, c'est qu'un modèle de simulation basé sur des informations relativement incomplètes, rassemblées dans un temps relativement court, est apte à une extrapolation dans le futur.

Rappelons encore brièvement certaines grandeurs intervenant dans un modèle de simulation.

Concernant le CO₂, la quantité anthropogène générée en une année varie entre 6,3 et 10 Gtc, dont 5,3 Gtc provient de la combustion de produits fossiles et des cimenteries.

Par contre, les échanges entre la biomasse, l'atmosphère et les océans est de l'ordre de 200 Gtc par an. On remarque dès lors la grande incertitude de l'origine de l'enrichissement de l'atmosphère en gaz carbonique qui n'est que de 2,7 Gtc par an, soit le 1,3% de la masse en circulation. Il suffit d'une très faible variation des masses échangées pour masquer l'accroissement dû réellement à la production anthropogène.

Concernant le bilan thermique de la Terre, il semble qu'en moyenne 55% de l'énergie solaire atteigne le sol. Les flux reçus et renvoyés sont égaux, puisque la Terre se trouve dans un état d'équilibre thermique. Les 55% d'énergie reçue se décomposent comme suit: 15% participent à l'effet de serre, 7% élèvent la température de l'air, 23% participent à l'évaporation de l'eau et 10% sont rayonnés dans l'espace.⁽⁶⁾

Disons encore quelques mots concernant les calottes glaciaires. De nombreuses publications prédisent une interaction positive (positive feed-back) due à la disparition partielle de la neige et des glaces due à une élévation de la température, à cause d'une diminution de l'énergie solaire réfléchie (diminution de l'albedo).

Ellsaesser⁽¹¹⁾ est d'un autre avis pour au moins trois raisons:

1. la très faible énergie solaire reçue à ces latitudes;
2. la glace et la neige créent une bonne isolation du sol et de la mer. Une couverture de glace ou de neige réduit donc les pertes de chaleur latente et sensible à l'atmosphère et ensuite dans l'espace. Une réduction des surfaces enneigées conduirait donc à un refroidissement de la terre. D'ailleurs entre 1940 et 1970, les surfaces recouvertes de glace ont augmenté dans l'Antarctique;
3. à ces hautes latitudes, l'albedo avec ou sans glace est très faible.

En conclusion, il est permis de dire que les climatologues sont encore très loin d'une réponse crédible aux questions posées par un éventuel changement de climat. En particulier, la prédiction des cycles hydrologiques, qui sont d'une importance primordiale, échappe totalement à une modélisation.

CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET CONSÉQUENCES ÉCOLOGIQUES

La consommation mondiale d'énergie par an est équivalente à un cube de pétrole de 300 m de côté. Le pétrole en représente le 60%, l'énergie hydraulique et nucléaire le 9% environ. Les pays

industrialisés, ne comprenant que le 23% de la population de la Terre, en consomment le 70%, soit 8 fois plus que le reste de la population mondiale.

Vouloir faire participer les pays en développement à notre consommation effrénée d'énergie relève d'une certaine inconscience si l'on considère la dégradation de la qualité de vie qui en est résultée pour notre société industrielle, submergée par une croissance exponentielle de déchets organiques, chimiques et radioactifs et exposée à un environnement pollué et bruyant.

D'autre part, il faut cesser de considérer l'accroissement de la consommation d'énergie par habitant comme une fatalité et endiguer le gaspillage au moyen d'une politique énergétique de dissuasion et non basée essentiellement sur le profit, surtout en ce qui concerne l'énergie électrique.

Le tableau suivant donne une idée des ressources mondiales et de la consommation actuelle. En Suisse, les carburants (trafic motorisé) interviennent pour 40% des produits fossiles consommés!

Réserves mondiales prouvées		
Charbon	3 Tt	(réserves estimées 10 Tt)
Pétrole	90 Gt	(réserves estimées, avec Kéroène et sables bitumeux 600 Gt)
Gaz	100 TNm ³	(récupérables 180 et ressources évaluées à 280 TNm ³)

T = Tera = 10¹²; G = Giga = 10⁹; M = Méga = 10⁶; t = tonne.

Consommations annuelles		
Mondiales		Suisse
Charbon	2,7 Gt	0,5 Mt
Pétrole	3 Gt	11 Mt
Carburant		
Gaz	1,7 TNm ³	1,6 GNm ³

La combustion de charbon et de mazout en lit fluidisé, avec un mélange de calcaire neutralisant, permet de réduire à 10% les émanations d'oxyde de soufre en produisant du gypse et de diminuer la production d'oxyde d'azote à 25%. Par ailleurs, la teneur en oxyde d'azote peut être encore réduite à 10% par l'emploi d'ammoniac neutralisant. Pour l'automobile, le catalyseur s'impose.

Vouloir remplacer une large part de la consommation mondiale, dans le futur, par l'énergie nucléaire, tel qu'il l'est souvent proposé dans des publications sur l'effet de serre qui se veulent alarmistes,^(14,15) relève de l'utopie, puisque selon l'un des auteurs il faudrait construire 110 000 centrales de 1 000 MWé dans l'espace de cent ans, à moins qu'une partie de l'énergie ne soit directement utilisée sous forme de chaleur, ce qui réduirait un peu le nombre de centrales. Suivant un autre auteur, il faudrait ériger pas moins de 79 000 centrales en 100 ans. La prolifération des déchets radioactifs qui en résulterait deviendrait un problème majeur pour l'humanité et les générations futures. Le stockage des déchets pour lesquels on ne perçoit, actuellement, aucune solution acceptable, étant donné l'incertitude totale concernant la stabilité tectonique des régions d'accueil et la durée des contrôles qui doit s'étendre sur des milliers d'années, conduirait à une gestion impossible.

L'avènement des surgénérateurs, avec les énormes quantités de plutonium à manipuler, rend encore plus aléatoire le contrôle de la dissémination de la radioactivité. L'expérience passée dans le domaine des déchets chimiques et radioactifs a déjà fait apparaître un laisser-aller intolérable des producteurs de déchets et des autorités concernées. Ce sera un terrain d'action tout indiqué dans le futur pour la mafia ou toute autre organisation en vue d'une diversification d'activité.

De toute façon, la Suisse est entièrement tributaire de l'étranger pour son approvisionnement en énergie fossile et nucléaire, ainsi que pour le retraitement du combustible irradié.

En Suisse, la production d'énergie électrique a toujours été supérieure à la consommation. Elle est donc excédentaire. Cette différence, exportée dans les pays limitrophes, correspond à la production annuelle d'une centrale nucléaire de la taille de Gösgen (960 MWé) travaillant pour l'exportation. Il est donc erroné de dire, comme le diffusent certaines publications de désinformation, qu'une ou deux centrales nucléaires en France subviendraient aux besoins d'électricité de la Suisse.

Il est certain qu'une grande quantité d'énergie électrique est échangée avec les pays qui nous entourent. Par exemple, la Suisse importe de l'énergie bon marché pour des besoins de chauffage par exemple et exporte, en particulier de l'énergie de pointe beaucoup plus chère. Ce va-et-vient d'énergie n'a donc rien à faire avec une pénurie d'énergie en Suisse, même en hiver. Il s'agit là d'une opération purement financière. C'est la raison pour laquelle les producteurs d'électricité veulent augmenter la capacité de nos lacs d'accumulation et même en créer de nouveaux pour stocker, par pompage, de l'énergie surabondante bon marché pour la restituer en cas de besoin, en général à un prix élevé. Ainsi, de nouvelles lignes haute tension sont nécessaires pour le va-et-vient de l'énergie avec une perte globale d'environ 25%, comprenant le rendement des turbomachines.

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE NE PEUT PAS COMBATTRE L'EFFET DE SERRE

Dans les journaux, les publications et les conférences protonucléaires, il est souvent mentionné que le problème de l'accroissement de l'effet de serre dû au gaz carbonique peut être résolu, dans une certaine mesure, par le remplacement partiel des combustibles fossiles par l'énergie nucléaire. Or, un calcul simple montre l'impossibilité, pour le nucléaire, d'avoir une influence marquée sur l'effet de serre.

Relevons tout d'abord que l'influence du gaz carbonique n'intervient que pour un tiers environ dans l'effet de serre. Si on réduit la production de CO₂ de 20% par exemple par la génération d'énergie nucléaire, ce qui serait déjà considérable, l'effet de serre global ne varierait que de quelques pour cents. Par contre, il faudrait mettre en œuvre un nombre élevé de centrales nucléaires, car il faudrait non seulement remplacer les 20% de la consommation de combustibles fossiles, mais aussi tenir compte du doublement de la consommation en 35 ans, correspondant à une progression généralement admise de 2% par an. Enfin, il faudrait, après une période d'utilisation d'environ 40 ans, remplacer les anciennes centrales. Compte tenu de ces considérations et de la mise en service de centrales de 1 000 MWé travaillant 7 000 heures

par an, ce qui correspond à un taux d'utilisation moyen très élevé, ainsi que de la consommation mondiale actuelle d'énergie de l'ordre de 80 000 milliards de KWh thermiques, il faudrait construire, compte tenu de la progression de 2% de la consommation d'énergie, environ 2 530 centrales en 35 ans et ceci en considérant qu'un tiers seulement de l'énergie électrique des centrales nucléaires ayant un rendement thermique de 33% est utilisé pour le chauffage en remplacement de combustibles fossiles. Enfin, 5 060 centrales devront voir le jour pendant la période suivante, puis 10 120, soit un total de 17 710 centrale en 105 ans!

Chaque année, 35 tonnes d'uranium irradié doivent être retirées de chaque centrale de 1 000 MWé, qui devront être retraitées, conduisant à la manipulation de 22 millions de tonnes de produits radioactifs(*) en 105 ans et au stockage de plusieurs millions de tonnes de déchets hautement et moyennement radioactifs pendant des millénaires sans avoir, pour l'instant, de solution acceptable.

Non seulement le nucléaire est totalement impuissant à contribuer efficacement à combattre l'effet de serre, mais il met en danger l'environnement et les générations futures.

(*) Contenant 180 000 tonnes de plutonium.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. E.T. Degens, S.Kempe, A.Spitz (1984), «Carbon Dioxide: A Biochemical Portrait». The handbook of environmental chemistry. Springer Verlag. Vol. 1, Part C.
2. Divers auteurs (1980), «Das Klima», Edité par H. Oeschger, B. Messerli, M. Sivilar. Springer Verlag.
3. G.M. Woodwell, «Das Kohlendioxyd-Problem», *Spektrum der Wissenschaft*, Erst-Edition.
4. Divers auteurs (1982), «The Handbook of Environmental Chemistry», Springer Verlag, Vol. 1, Part B.
5. H. Oeschger, U.Siegenthaler, T.Wenk (1982), «The Carbon Dioxide Problem» Book: Primary Energy, Springer Verlag.
6. R. Revelle (1982), «Carbon Dioxide and World Climate» in *Scientific American*, Vol. 247, No. 2.
7. Divers auteurs (1981), «Ullmann's Enzyklopädie der Technischen Chemie», Vol.6, 4^e Edition.
8. A.P. Ingersoll (1983), «The Atmosphere» in *Scientific American*, Vol. 249, No. 3.
9. C. Covey (1984), «The Earth's Orbit and the Ice Ages» in *Scientific American*, Vol. 250, No. 2.
10. H. Oeschger (1983), «Energie und Umwelt» in *Techn. Rundschau*, 15 Février.
11. H.W. Ellsaesser (1984), «The Climatic Effect of CO₂, a Different View» in *Atmospheric Environment*, Vol. 18, No. 2.
12. Divers auteurs (1985), «Detecting the Climate Effects of Increasing Carbon Dioxide», United States Department of Energy, DOE/ER-0235 Décembre.
13. E. Schanda, «La couche d'ozone en point de mire», in *Thema*, Magazine des Hautes Ecoles Suisses, No.3.
14. K. Heinloth (1987), «Sind Fossile Brennstoffe eine Alternative zur Kernenergie? kein Entrinnen vor der Klimakatastrophe im 21. Jahrhundert.» in *Neue Zürcher Zeitung*, 4 Feb.
15. A. Gardel (1984), «Scénarios Énergétiques et CO₂» in *Abus de combustibles fossiles...Catastrophe écologique, économique et sociale?* Edité par Fédération romande pour l'énergie, Lausanne.

Le nucléaire: une réponse à l'effet de serre?

par Y.-L. BOULLIS

INTRODUCTION*

C'est le dernier argument en date des tenants du nucléaire: les centrales nucléaires seraient la panacée et la panacée unique pour lutter contre l'effet de serre.

En France, le Secrétaire d'Etat à l'environnement, Brice Lalonde, a déclaré au magazine *Time*: «J'étais un opposant farouche du nucléaire... L'effet de serre m'a conduit à reconsidérer la question.»⁽¹⁾ Il ajoute dans *L'Express*⁽²⁾: «Actuellement, le nucléaire apparaît comme une forme de production d'énergie qui, malgré ses gros inconvénients, a aussi quelques avantages quant à la pollution atmosphérique. Il ne produit pas de gaz carbonique.»

Notre premier ministre, Michel Rocard, abonde dans le même sens: «Puisque l'extrême urgence est de produire de l'énergie sans rejeter de gaz carbonique, nous utilisons l'énergie nucléaire. Aujourd'hui, c'est la seule qui ne produise pas de gaz carbonique.»⁽³⁾

Enfin, Marcel Boiteux, ancien président d'E.D.F. et président de la Conférence Mondiale de l'Energie tenue au Canada en septembre 1989, a estimé que le développement de l'énergie nucléaire «est un devoir pour protéger l'atmosphère. Le nucléaire est la seule forme d'énergie susceptible d'un développement massif sans polluer l'atmosphère.»⁽⁴⁾

Au plan international, on retrouve le même empressement pour remettre en selle le nucléaire malgré la mise en évidence des conséquences de plus en plus graves d'accidents majeurs de type Tchernobyl: mutations génétiques, nécessité d'extension du périmètre d'évacuation, etc.

Ainsi, Alvin Weinberg, l'initiateur américain des R.E.P. (Réacteurs à Eau Pressurisée), concluait un colloque, en décembre 1987, par ces mots: «Le gaz carbonique est devenu le problème central de l'écologie. Cela me paraît constituer l'incitation la plus forte pour relancer le développement de l'énergie nucléaire.»¹

Le président du Massachusetts Institute of Technology, Paul E. Gray, enfonce le clou. Pour lutter contre l'effet de serre, le nucléaire est, «dans mon esprit, la seule approche viable à long terme pour compenser la croissance continue de la population et de l'économie.»⁽⁵⁾

A la Conférence Mondiale de l'Energie, l'énergie nucléaire a été présentée comme une ressource essentielle et les experts comptent bien sur l'effet de serre pour faire croître sa crédibilité.⁶

Cependant, d'autres experts, Bill Keepin et Gregory Kats, du Rocky Mountain Institute, déclarent ce recours au nucléaire

illusoire: «Un développement soutenu de l'énergie nucléaire, même réalisé à l'échelle de la planète et sur une période de plusieurs décennies, ne réglerait pas le problème de l'effet de serre.»¹

Alors, qu'en est-il? Pour juger de l'impact possible du nucléaire sur l'effet de serre, il faut commencer par définir cet effet et en analyser les causes, puis examiner les consommations d'énergie d'aujourd'hui et celles prévue pour demain. Nous jaugerons ensuite les effets d'une augmentation notable de la part de l'énergie nucléaire. Enfin, nous ferons des propositions alternatives pour faire diminuer l'effet de serre.

L'EFFET DE SERRE ET SES CAUSES

L'effet de serre, c'est la propriété qu'ont certains gaz de l'atmosphère d'absorber une partie du rayonnement infrarouge émis par le sol de notre planète. Ceci empêche la Terre de se refroidir normalement et entraîne, à terme, un réchauffement généralisé de la planète.

Si le principal gaz à l'origine de l'effet de serre est le gaz carbonique (CO₂), d'autres gaz sont aussi en cause. C'est particulièrement le cas des C.F.C. ou chlorofluorocarbones pour lesquels on estime qu'une molécule de ces gaz a un pouvoir absorbant équivalent à celui de 10 000 molécules de CO₂.

Même pour le gaz carbonique, les causes de l'augmentation de sa teneur dans l'atmosphère sont multiples: injection de CO₂ supplémentaire par la combustion des combustibles fossiles, mais aussi moindre absorption de CO₂ en raison de la déforestation.

Une étude récente de l'Environmental Protection Agency, l'organisme officiel de protection de l'environnement aux Etats-Unis,⁷ étudie et quantifie les différentes causes de l'effet de serre. Elle est illustrée par la figure 1.

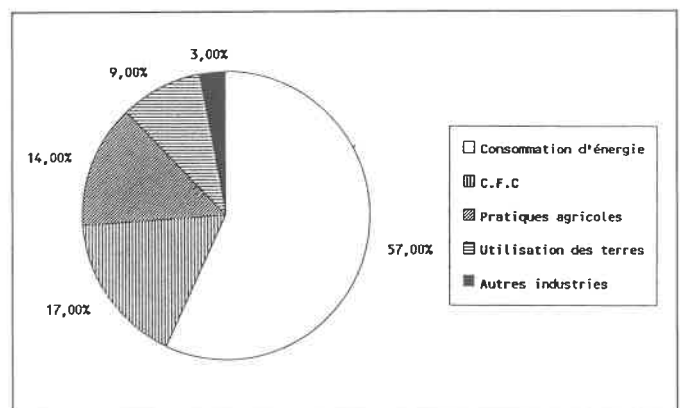


Figure 1: Activités contribuant à l'effet de serre dans les années 1980.

* Dans le texte, les notes renvoient aux références bibliographiques en fin d'article.

Ainsi, la consommation d'énergie contribue à l'effet de serre, par l'émission de gaz carbonique, pour un peu plus de la moitié. Encore, peut-on relever des différences entre les sources d'énergie. En effet, pour fournir la même quantité d'énergie, la combustion du pétrole émet 1 kg de CO₂, celle du charbon en fournit 1,28 kg et celle du gaz naturel 0,75 kg.⁽⁸⁾

Pour les C.F.C., l'autre cause majeure, l'effet est double. Nous avons déjà parlé de leur absorption directe mais ces corps sont surtout à l'origine de la destruction de l'ozone stratosphérique qui laisse, ainsi, passer de plus en plus de rayons ultraviolets durs jusqu'à la surface de la planète. A la surface des mers, ces rayons ultraviolets ralentissent la formation de phytoplancton. Ce dernier n'est pas seulement le premier maillon de la chaîne alimentaire marine, c'est aussi un excellent moyen, pour la mer, de fixer le carbone et donc de contribuer à la baisse de la teneur en CO₂ par dissolution de celui-ci dans l'eau de mer.

LES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN

Pour finir de planter le décor de notre discussion, il nous faut connaître la part du nucléaire dans la consommation d'énergie. Le problème de l'effet de serre étant global pour la planète, c'est la consommation mondiale d'énergie qui doit être prise en considération. Le tableau ci-après donne cette consommation pour l'année 1987.⁽⁹⁾

	Equivalence O.C.D.E.	Equivalence O.N.U.
Pétrole	2 900	2 900
Charbon	2 400	2 400
Gaz naturel	1 800	1 800
Hydroélectricité	450	172
Nucléaire	380	145
Bois	370	370
Bourse	150	150
Bagasse	50	50
TOTAL	8 500	7 987

Tableau I: Consommation mondiale d'énergie en 1987. L'unité est l'énergie équivalente à celle contenue dans un million de tonnes de pétrole brut (MTEP). Pour l'électricité, les équivalences retenues par l'O.C.D.E. et l'O.N.U. sont différentes, ce qui explique l'existence de ces deux colonnes. L'équivalence O.C.D.E. revient à faire l'hypothèse que toute l'électricité sert à des usages mécaniques et fait intervenir un rendement théorique d'un moteur thermique (Principe de Carnot). L'équivalence O.N.U. est l'équivalence stricte du Système International de mesure. Elle est plus réaliste en cas d'utilisation thermique de l'électricité. La Bagasse est la tige de canne à sucre.

Le tableau I est repris de façon plus lisible par les figures 2 (équivalences O.C.D.E.) et 3 (équivalences O.N.U.). On peut y constater la faible part actuelle du nucléaire (équivalente à celle du bois pour l'O.C.D.E. et à celle de la bourse pour l'O.N.U.).

A partir de ces consommations, on peut tenter d'évaluer la part de chaque source d'énergie dans l'effet de serre. Cette évaluation peut être rigoureuse pour les parts relatives du charbon, du pétrole et du gaz naturel. Il est par contre plus hasardeux de déterminer celles des énergies non commerciales: bois, bourse, bagasse. On peut simplement dire que ce sont des sources peu énergétiques et que leur part relative dans l'émission de CO₂ doit être

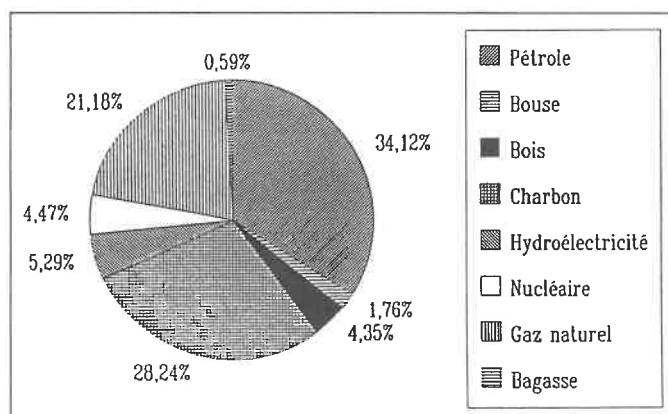


Figure 2: Consommation mondiale d'énergie en 1987 (Equivalence O.C.D.E.)

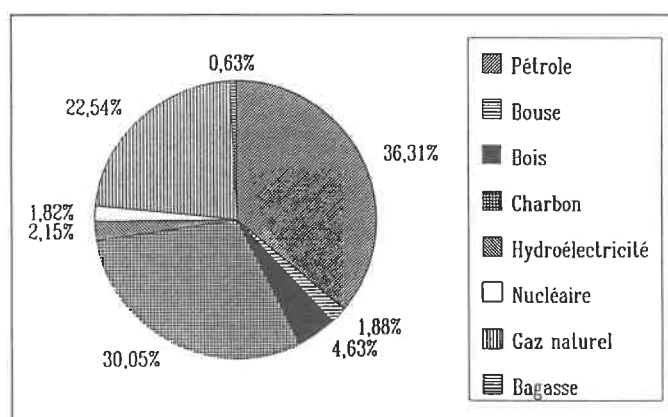


Figure 3: Consommation mondiale d'énergie en 1987 (Equivalence O.N.U.)

supérieure à celle du charbon. Nous considérerons ici que, pour fournir la même quantité d'énergie, alors que le pétrole émet 1 kg de CO₂, ces énergies en émettent 1,5 kg. Il faut noter qu'en raison des quantités relativement faibles de ces énergies, une erreur importante sur cette estimation a une importance faible sur la part des sources majeures d'énergie dans l'effet de serre. Le tableau II donne les parts, telles que nous les avons calculées, de chacune des énergies dans l'effet de serre. Il est évident que, dans ce tableau, les décimales données n'ont qu'une valeur purement indicative. Les grandes masses sont cependant réalistes.

Source	Parts en pourcents
Charbon	21,41
Pétrole	20,22
Gaz naturel	9,41
Sources non commerciales	5,96
TOTAL	57

Tableau II: Part des différentes sources d'énergie dans l'effet de serre dans les années 1980.

Il est aussi intéressant de connaître la répartition de cette consommation entre les différents pays consommateurs. C'est ce qui est fait dans le tableau III pour cinq grandes catégories de pays, les pays les plus importants de chaque catégorie étant individualisés. Pour une meilleure lisibilité, la consommation est exprimée en pourcentage de la consommation mondiale.

On peut constater sur ce tableau la part prépondérante prise par les pays industrialisés dans la consommation d'énergie puisque les pays du COMECON (Europe de l'Est) et de l'O.C.D.E. représentent près de 70% de la consommation totale pour environ 20% de la population mondiale.

Pays ou groupes de pays	Pourcentage de consommation	
O.C.D.E.	45,88	
Etats-Unis	21,24	
Japon	4,47	
R.F.A.	3,21	
Canada	2,78	
Grande-Bretagne	2,47	
France	2,41	
COMECON	23,53	
U.R.S.S.	19,41	
Chine	9,41	
Pays en développement	16,47	
Autres	4,71	

Tableau III: Part de consommation 1987 de différents pays ou groupes de pays (*Faits et Chiffres 1988*, chapitre Energie).

Quelle est la part prévue demain pour l'énergie nucléaire? Lors de la récente Conférence Mondiale de l'Energie a été présentée une étude sur les «horizons énergétiques mondiaux 2000-2020». (10) Ses conclusions pour les années 2000 et 2020 sont reprises dans le tableau IV, toujours avec les deux équivalences O.C.D.E. et O.N.U. Les équivalences O.N.U. ont été calculées par nos soins.

	2000 O.C.D.E.	2000 O.N.U.	2020 O.C.D.E.	2020 O.N.U.
Charbon	2 816	2 816	4 051	4 051
Pétrole	3 088	3 088	3 543	3 543
Gaz naturel	1 981	1 981	2 355	2 355
Hydraulique	642	246	1 043	399
Nucléaire	637	244	1 133	434
Energies nouvelles	70	70	365	365
Energies non commerciales	1 625	1 625	1 055	1 055
TOTAL	10 859	10 070	13 545	12 202

Tableau IV: Prévisions de consommations énergétiques mondiales (en Mtep) pour les années 2000 et 2020.

Si les valeurs données par cette étude se vérifient, l'effet de serre augmentera de 27% d'ici à l'an 2020. Un autre intérêt de cette étude est de montrer qu'il est prévu que l'énergie nucléaire augmente d'environ 68% d'ici l'an 2000 et triple d'ici l'an 2020. Ceci nous sera utile au chapitre suivant pour déterminer quelle augmentation de la part du nucléaire serait plausible.

NUCLÉAIRE CONTRE EFFET DE SERRE

Quelle augmentation de production peut-on envisager à court terme pour l'énergie nucléaire? Un doublement est un maximum, sans doute largement au-delà de ce qui est réaliste. En effet, cela reviendrait à construire plus de 300 nouvelles tranches de 1 000 Mwé en plus des 400 de toutes tailles existant de par le

monde. Bien que ce doublement soit peu réaliste, c'est lui que nous utiliserons pour mesurer son impact sur l'effet de serre.

Pour mesurer cet impact, il faut savoir quelles énergies le nucléaire peut remplacer et choisir l'énergie la plus polluante possible, en termes de CO₂. Le nucléaire ne peut remplacer les énergies non commerciales car celles-ci font surtout l'objet d'une utilisation locale, individuelle, souvent en pays sous-développés, toutes caractéristiques incompatibles avec le nucléaire. Par contre, on peut remplacer des centrales électriques au charbon par des centrales nucléaires. Dans cette hypothèse, les nouvelles centrales nucléaires permettraient d'économiser 370 Mtep de charbon ce qui fait baisser l'effet de serre de 3,4%.

Face à ce gain très modeste sur l'effet de serre, quels seraient les différents coûts d'un tel choix?

Le premier est purement économique. Réaliser 300 tranches nucléaires de 1 000 Mwé demanderait un investissement d'au moins 3 000 milliards de francs français sans compter celui des usines d'enrichissement d'uranium et des centrales nucléaires nécessaires pour alimenter en énergie le cycle d'enrichissement, sans compter le coût du stockage des déchets. Encore cet investissement est-il un minimum, basé sur le coût officiel des tranches nucléaires françaises. Il serait bien supérieur en prenant les coûts reconnus dans les pays étrangers. Une telle somme représente trois années de budget national de notre pays ou le budget du secrétariat d'Etat à l'environnement pendant plus de trois siècles.

Il y a aussi un coût en matière de sécurité. Construire 300 tranches nucléaires de plus reviendrait à banaliser le nucléaire. On sait que la vigilance humaine est plus forte en situation exceptionnelle (travail sur des prototypes) que dans le travail courant. On peut donc craindre que les erreurs humaines ne s'accroissent et que la probabilité d'accidents dus aux erreurs humaines ne fasse plus que doubler. Or, déjà, les négligences ou erreurs humaines susceptibles de mettre en cause la sécurité ou à l'origine d'accidents sont nombreuses. N'oublions pas que l'accident de Tchernobyl a été imputé à une erreur humaine. Il y a deux ans, aux Etats-Unis, une centrale nucléaire a été fermée parce que le personnel n'assurait pas ses tâches normales de surveillance. Notre pays n'est pas exempt de ces erreurs ou négligences. Ainsi, pour SuperPhénix, le surgénérateur prototype, les radios de la cuve principale ont été réalisées mais personne ne les a examinées. L'année dernière, sur l'une des tranches de la centrale du Tricastin, il a été procédé à une réparation sans arrêt de la centrale, au mépris des règles de sécurité, dans le seul but de maintenir la productivité. A la centrale de Gravelines, lors d'opérations de maintenance, des vis actives de système de sécurité avaient été remplacées par des vis inactives. A la fin de la maintenance, il a été oublié de changer les vis et la tranche a fonctionné pendant un an avec un système de sécurité déconnecté. Tous ces exemples récents de négligences ou d'erreurs ont fait l'objet de publications dans la presse écrite et audiovisuelle. Ils montrent que la sécurité absolue n'existe pas plus dans le domaine de l'énergie nucléaire que dans les autres domaines industriels. La banalisation du nucléaire ferait encore largement décroître le niveau de sécurité.

Autre coût, celui des déchets de l'industrie nucléaire; nous entendons par là les déchets nucléaires proprement dits mais aussi les rejets dans l'atmosphère et les eaux. Rappelons que, pour ces rejets, les niveaux autorisés en France sont beaucoup plus élevés que dans les pays voisins. Rappelons encore que de nombreux scientifiques admettent maintenant qu'il n'y a pas de doses

inoffensives de rayonnements radioactifs. Pour les déchets proprement dits, le doublement de la production électronucléaire entraînera un doublement du volume des déchets, déchets dont on ne sait que faire.

Enfin, on peut noter que le passage de centrales électriques au charbon aux centrales électriques nucléaires demandera un plus grand volume d'eau pour le refroidissement en raison de la différence de rendement (23% d'eau en plus). Pour la France, où E.D.F. est déjà le plus grand consommateur d'eau, cela pose problème.

En conclusion de ce chapitre, il apparaît que faire augmenter de façon aussi forte que possible la part du nucléaire dans la consommation mondiale d'énergie n'aurait qu'un impact fort limité sur l'effet de serre (diminution d'un trentième pour un doublement de la production nucléaire) et aurait des coûts de toute nature fort élevés. C'est pourquoi nous consacrerons le dernier chapitre à des propositions alternatives.

PROPOSITIONS ALTERNATIVES

Diverses propositions alternatives sont possibles pour faire diminuer l'effet de serre. Nous en étudierons ici quatre :

- faire diminuer les émissions de C.F.C.,
- augmenter l'efficacité énergétique,
- encourager la cogénération chaleur-électricité,
- choisir les énergies fossiles les moins polluantes.

Nous allons ici les présenter l'une après l'autre et en quantifier l'effet possible sur l'effet de serre.

Enfin, à l'aide de ces différentes propositions, nous monterons un scénario les combinant et regarderons le résultat sur l'effet de serre.

Faire diminuer les émissions de C.F.C.

Les C.F.C. sont des gaz utilisés depuis plus de cinquante ans dans plusieurs buts :

- comme agents propulseurs dans les bombes aérosols,
- comme produit frigorigène dans les réfrigérateurs et climatiseurs,
- comme agents gonflants dans certaines mousses,
- comme agents nettoyants dans l'industrie de l'électronique.

Le principal défaut de ces gaz est de contribuer à la destruction de l'ozone de la haute atmosphère et, pour cette raison, il a été décidé, par le protocole de Montréal puis à la réunion d'Helsinki, de diminuer de façon drastique la production de C.F.C. L'industrie chimique commence à produire des gaz de substitution moins nocifs pour la couche d'ozone.

Un second défaut des C.F.C. est de participer, de façon importante (17%), à l'effet de serre. Et là, avant même leur utilisation industrielle, les produits de substitution sont accusés d'être encore plus absorbants. Il y a tout lieu de craindre que la simple substitution se traduise par une augmentation de l'effet de serre et non une diminution.

C'est pourquoi nous préconisons de faire diminuer de façon notable les émissions de C.F.C. et de leurs substituts.

Nous proposons tout d'abord d'utiliser les conditionnements en aérosols pour les seuls cas où ce type de conditionnement est indispensable, c'est-à-dire dans une infime minorité des cas.

Pour la réfrigération et la climatisation, les émissions ont lieu principalement après la fin de vie des appareils, dans les décharges, par percement des canalisations sous l'effet de la rouille. Nous préconisons donc de généraliser l'expérience de récupération des C.F.C. faite dans les décharges de la Communauté urbaine de Bordeaux et dans d'autres villes. Une autre source d'émission est constituée par les opérations de maintenance sur les groupes réfrigérants industriels nécessitant une vidange des circuits de réfrigération. Nous préconisons qu'une information et une formation des frigoristes, éventuellement complétées par une réglementation, conduisent à une récupération de ces C.F.C.

Pour les mousses, il convient de limiter leur usage au strict nécessaire. Ainsi, les emballages d'œufs ou de hamburgers pourraient être en carton sans que la qualité du produit soit en rien affectée.

Enfin, pour le nettoyage en électronique, d'autres méthodes ont été mises au point. Il suffit de veiller à ce qu'elles entrent rapidement dans les mœurs.

Une réduction à néant des émissions de C.F.C. entraînerait une diminution de 17% de l'effet de serre, c'est-à-dire aurait un effet cinq fois plus important que le doublement de la production d'électricité d'origine nucléaire. Et ceci pour un coût économique tout à fait limité puisque, dans nos propositions, seule la récupération des C.F.C. de réfrigération demande des investissements (beaucoup moins de 100 000 francs par installation soit moins de 2 milliards de francs pour l'ensemble de la planète). Cependant, un arrêt total et immédiat des émissions n'aurait tous ses effets que dans 20 ou 30 ans en raison de la durée de vie des C.F.C. déjà émis. Ceci n'est pas grave car l'effet de serre est un effet à long terme qui ne semble pas réellement préoccupant dès aujourd'hui mais dont les effets nocifs se feraient sentir au cours du siècle prochain. La réponse que nous proposons ici est donc tout à fait adaptée au problème.

Augmenter l'efficacité énergétique

Cela peut aussi s'appeler encourager réellement les économies d'énergie. Pour ce type de mesure, nous disposons à la fois d'une estimation du possible et d'une mesure de l'effet de ce qui a déjà été réalisé.

Dans un rapport récent,⁽⁵⁾ l'O.N.U. a estimé que 50% de l'énergie utilisée dans les pays industrialisés pouvait être économisée grâce à des techniques existantes. En ne considérant que les pays de l'O.C.D.E. et ceux du COMECON, cela représente une possibilité de diminution de 34,7% de la consommation mondiale d'énergie de 1987 (voir tableau 3) soit environ 2 950 Mtep.

Pour mesurer l'impact d'une telle économie sur l'effet de serre, on ne peut réduire la part du seul charbon, l'énergie la plus polluante. En effet, la diminution est supérieure au total de la consommation de charbon et il n'est pas plausible de réduire à néant cette consommation. Nous avons donc réparti l'économie réalisée sur les trois énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel), au prorata des consommations. Avec cette hypothèse, les économies d'énergie feraient baisser de 21,2% l'effet de serre, soit plus

de six fois la diminution due à un doublement de la production d'électricité nucléaire.

Est-il crédible de proposer de telles réductions de consommation? L'histoire récente répond à cette question. En 1973, après le premier choc pétrolier, une vigoureuse politique d'économies d'énergie a été menée dans les pays de l'O.C.D.E. L'augmentation de l'efficacité énergétique obtenue en 1984⁽¹¹⁾ permettait d'économiser 845 Mtep de consommation annuelle pour l'O.C.D.E. soit environ 3 fois la production d'électricité nucléaire des mêmes pays à cette époque. On voit donc que l'estimation de l'O.N.U. sur les économies possibles semble réaliste, eu égard à tout ce qui reste à faire dans ce domaine.

Encourager la cogénération chaleur-électricité

Il existe deux grandes utilisations de l'énergie: les usages thermiques et les usages mécaniques dont fait partie la production d'électricité. Ces deux utilisations sont généralement disjointes. Lorsque l'on produit de l'électricité d'origine thermique, la plus grande part de l'énergie est perdue dans les tours de refroidissement de la centrale et seulement moins de 40% de l'énergie est convertie en électricité. La cogénération chaleur-électricité consiste à produire en même temps de l'électricité et de la chaleur basse température (moins de 100°C). Le rendement électrique de la centrale est alors plus faible mais, la chaleur créée étant utilisée, le rendement global de l'opération peut être de l'ordre de 70% à 80%, c'est-à-dire le double du seul rendement électrique.

En 1986, 6450 milliards de kwh ont été produits, de par le monde, dans des centrales thermiques classiques.⁽¹²⁾ Avec les équivalences de l'O.C.D.E., cela correspond à environ 1 430 Mtep. Avec celles de l'O.N.U., cela donne 500 Mtep. La généralisation de la cogénération, en doublant le rendement global des centrales, permettrait d'économiser environ 550 Mtep. En considérant que c'est la consommation de charbon qui baisserait, cela correspond à une baisse de l'effet de serre de 4,9% soit 1,4 fois plus que le doublement de la production d'électricité d'origine nucléaire.

Choisir les énergies fossiles les moins polluantes

Nous avons vu que les différentes sources d'énergie n'émettent pas la même quantité de CO₂ pour produire la même quantité d'énergie. En particulier, le gaz naturel émet 41% de CO₂ de moins que le charbon. On peut donc envisager d'augmenter la part du gaz naturel au détriment de celle du charbon.

Cette proposition est réaliste. En effet, les découvertes de gaz naturel ont été nombreuses au cours de la dernière décennie et beaucoup ne sont pas mises en exploitation uniquement par manque de débouchés.

On peut espérer, de façon crédible, une augmentation de 50% de la part du gaz naturel dans la consommation énergétique ce qui revient à remplacer 900 Mtep de charbon par autant de gaz naturel. La substitution réalisée entraînerait une baisse de l'effet de serre de 3,3%, soit pratiquement équivalente à celle provoquée par un doublement de la production d'électricité d'origine nucléaire.

Un scénario alternatif

La figure 4 montre le résultat, sur l'effet de serre, des différentes propositions que nous avons envisagées. On peut y constater que le doublement de la production d'électricité nucléaire a un effet qui est soit nettement plus faible, soit, au plus, équivalent à celui de nos différentes propositions alternatives.

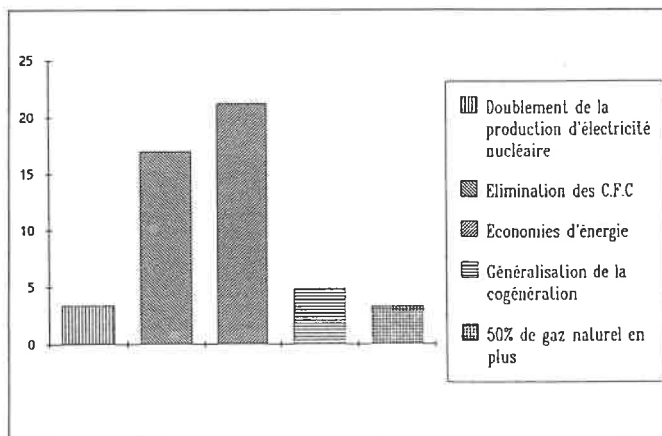


Figure 4: Réduction de l'effet de serre (en pourcentage) obtenue à partir des différentes propositions.

Ces propositions ne sont pas exclusives. On peut donc les combiner entre elles. Par contre, pour chacune d'entre elles, nous avons considéré qu'on allait jusqu'au maximum de ce qu'il était crédible de faire. Dans le scénario que nous allons étudier maintenant, toutes les propositions vont être combinées mais, pour chacune, nous nous contenterons d'une action raisonnable plus facile à obtenir sans efforts trop importants. Ainsi, nous considérerons que les émissions de C.F.C. sont réduites de 80%, que les économies d'énergie mises en place seront la moitié la plus facile à réaliser, que seules 20% des centrales électriques thermiques classiques seront converties à la cogénération et que la consommation de gaz naturel augmentera de 25%, celle de charbon diminuant en conséquence.

Le tableau V donne la consommation 1987 des trois énergies fossiles et celle qui aurait été obtenue avec application de notre scénario.

	Consommation 1987	Scénario
Pétrole	2 900	2 300
Charbon	2 400	965
Gaz naturel	1 800	2 250

Tableau V: Consommation réelle 1987 (en Mtep) et consommation déduite du scénario proposé.

A partir de ce tableau et sachant quelle est la baisse des émissions de C.F.C., on peut déterminer la diminution de l'effet de serre résultant de l'application de notre scénario. La variation de la consommation énergétique entraînerait une baisse de 14,6% et celle des émissions de C.F.C. une baisse de 13,6% soit au total une diminution de 28,2% c'est-à-dire plus de 8 fois le résultat obtenu avec un doublement de la production d'électricité d'origine nucléaire.

CONCLUSION

En 1973, après le premier choc pétrolier, la panique qui a atteint nos gouvernants a engendré un programme électronucléaire largement surdimensionné par rapport aux besoins réels et fort coûteux. Dix ans après, il s'avérerait que la voie des économies d'énergie, à peine explorée, avait beaucoup plus contribué que le nucléaire à la baisse de la demande et pour des coûts économique et social infiniment plus faibles.

Aujourd'hui, la nouvelle peur brandie par les partisans du nucléaire s'appelle «effet de serre». Ce dernier sert d'alibi pour redonner de la vigueur à une énergie dont plus personne ne veut et pour combattre la mauvaise image engendrée par l'accident de Tchernobyl et ses conséquences de plus en plus néfastes. Cet alibi est faux car, même en faisant abstraction des inconvénients du nucléaire, l'électricité d'origine nucléaire n'est pas capable de faire décroître de façon tangible l'effet de serre.

Aujourd'hui, comme il y a plus de quinze ans après le premier choc pétrolier, la réponse au problème posé se trouve essentiellement dans une plus grande efficacité énergétique obtenue grâce à une vigoureuse politique d'économies d'énergie. Elle se trouve aussi dans de plus faibles émissions de C.F.C. L'ozone stratosphérique en sera aussi bénéficiaire. Elle se trouve enfin dans le choix de combustibles moins polluants, en particulier dans l'extension du gaz naturel.

Une dernière proposition pour conclure. Les pays d'Europe de l'Est, dans leur processus de démocratisation, demandent une aide des pays occidentaux. Or ces pays ont une efficacité énergétique très faible. Nous proposons qu'au-delà de l'aide d'urgence qui leur est accordée, la priorité soit donnée à l'aide à l'amélioration de leur système énergétique. Leur économie s'en portera mieux et notre planète aussi.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. *Science et Technologie*, n° 16, juin 1989, p. 28.
2. *L'Express*, 7 avril 1989, p. 122.
3. *L'Express*, 11 août 1989, p. 33.
4. *Correspondance économique*, 19 septembre 1989.
5. *M.I.T. Report*, mai 1989, p. 14.
6. *Bulletin de l'Industrie Pétrolière*, n° 6438 du 27 septembre 1989, p. POINT 5.
7. *Science*, volume 243 du 24 mars 1989, p. 1544 (rapport provisoire de l'E.P.A.).
8. *Science et Technologie*, n° 16, juin 1989, p. 30.
9. *Faits et Chiffres 1988*, chapitre Energie.
10. *La Tribune de l'Expansion*, 20 septembre 1989.
11. *Revue de l'Energie*, n° 379, décembre 1985-janvier 1986, p. 509.
12. *Faits et Chiffres 1988*, chapitre Electricité.

Réflexions sur le Rapport Tanguy concernant la sûreté nucléaire à EDF

par Charles ENZ

1. EDF ET L'OPINION PUBLIQUE

Cette fois, il n'était pas question de la fuite du barillet, mais de celle du «Rapport de synthèse. La sûreté nucléaire à EDF, à fin 1989» de Pierre Tanguy, inspecteur général pour la sûreté nucléaire à EDF. L'élément d'information considéré le plus important par la presse est sans doute le nouveau chiffre avancé par Tanguy pour la probabilité d'un accident grave d'un des réacteurs «classiques» de 1 300 MW: 1 par quelque 100 ans qui est a comparé à l'ancien chiffre officiel de 1 par 100 000 ans (Etude probaliste de sûreté, EPS-1 300, voir Rapport Tanguy, p. 7), ce qui correspond à une augmentation du risque de quelque 100 fois!

Je reviendrai à cette numérologie plus loin, mais d'abord j'aimerais parler de ce qui pour moi est l'événement le plus intéressant de ce rapport: c'est le fait qu'EDF, dont la réputation est plutôt d'avoir une attitude monopoliste arrogante, semble être sérieusement concernée par l'opinion publique. Comment est-ce possible? Et bien, M. Tanguy dit dans son introduction que «(...) 1989 a vu une succession de prises de position de la part du Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires (SCSIN) qui ont indiqué sa volonté de marquer son indépendance vis-à-vis de l'exploitant nucléaire EDF, premier responsable de la sûreté de ses installations, et qui reflètent plus ou moins directement l'opinion des milieux politiques vis-à-vis des questions de sûreté et de protection de l'environnement (...)» (p. 2)*

Il semble en effet qu'un problème grave de relations entre EDF et SCSIN a

surgi car, dit M. Tanguy, «l'affirmation d'indépendance du SCSIN, par des critiques dures de la manière dont EDF exploite ses centrales, a surtout conduit le public à perdre la confiance qu'il avait dans l'exploitant nucléaire. L'utilisation de l'échelle de gravité comme instrument de pression du SCSIN sur EDF me paraît un grave détournement d'un outil qui ne sera un bon vecteur médiatique que s'il s'appuie sur la vérité des faits et de la technique» (p. 12).

Cette sensibilisation à l'opinion publique se traduit pour M. Tanguy par la nécessité d'«une plus grande ouverture et une plus grande transparence» sur le plan local. D'autre part, «l'impact politique risque d'être amplifié par les réactions internationales, surtout si l'accident survient sur une centrale frontalière» (p. 7). C'est la première fois, si je ne me trompe, qu'EDF se soucie de «l'environnement international» (p. 7) face à «l'image de la sûreté nucléaire en France». (p. 6)

2. LE VIEILLISSEMENT DU NUCLÉAIRE

Donc, non seulement les installations nucléaires françaises vieillissent-elles, mais aussi «l'environnement favorable» dans lequel tout ce programme ambitieux a pu se développer ainsi que les hommes surveillant le bon fonctionnement de ces installations. On pourrait en effet résumer le Rapport Tanguy en disant qu'il est concerné par le vieillissement général de l'entreprise nucléaire française et propose des contre-mesures.

Dans un souci d'objectivité, il est cependant important de souligner que le problème du vieillissement du nucléaire ne touche pas seulement la France. En effet, pour l'Europe, le plus grand danger vient des pays de l'Est nouvellement libres. Car là 24 réacteurs soviétiques «opèrent avec une technologie et un personnel qui n'est pas adéquat pour le risque. C'est une recette pour un accident nucléaire.» (Traduction

de l'hebdomadaire *Time* du 9.4.1990, p. 26.)

Le seul avantage, me semble-t-il, qu'on peut tirer de ce vieillissement général est celui de l'expérience gagnée. En effet, la complexité des phénomènes physiques se déroulant dans un réacteur en marche, et je fais abstraction ici des surgénérateurs, est si importante que les calculs théoriques d'une fréquence probable d'accidents (1 par tant d'années, voire plus) est illusoire sans l'apport d'informations d'origine expérimentale. Mais avec des réacteurs réels, il est impossible d'expérimenter.

Rappelons que la *probabilité d'un événement est définie comme la fraction de résultats positifs dans une très grande série d'essais répétés*. Alors tout mauvais fonctionnement est susceptible de fournir des éléments d'informations utiles pour l'estimation des risques. C'est dans ce sens qu'il faut comprendre l'augmentation du risque d'un accident grave par un facteur de quelque 100 mentionné dans le Rapport Tanguy. Mais dans le sens de la définition donnée, l'expérience nécessaire pour une estimation fiable des probabilités demanderait une durée d'opération des centrales qui dépasse largement leur durée de vie de quelques décennies.

3. LES EXPERTS ET LA NOTION DU RISQUE

J'ouvre ici une parenthèse concernant le surgénérateur Superphénix car, en effet, le calcul d'une fréquence probable d'accidents graves est encore bien plus incertain dans ce cas, et l'expérience pratique y est quasiment inexistante. C'est précisément pour cette raison que l'APAG avait décidé pour son *Expertise de la sûreté et de la sécurité du Superphénix* de ne pas recourir à un autre calcul théorique mais de faire appel au professeur Benecke pour un rapport qualitatif et en profondeur. Et je me félicite d'avoir insisté sur cette décision auprès de mes collègues au Bureau de l'APAG.

Ceci soulève d'ailleurs la question de la «compétence des experts» avec laquelle les

* Les numéros des pages renvoient à la version encore non officielle de ce Rapport tel qu'il circulait au début de 1990. Nous avons collationné les citations avec la version définitive intégrale du dit Rapport telle qu'elle a été publiée par Philippe Bach, in *Le dossier Creys-Malville*, p. 173-189, ouvrage dont on trouvera une recension dans ce numéro. (NdR)

délégués d'EOS (Electricité Ouest Suisse) se plaisent à semer le doute dans les discussions contradictoires. Le fait est que dans le domaine des surgénérateurs, la question de la «probabilité d'un accident majeur» est totalement illusoire. C'est la raison pour laquelle le même M. Tanguy, dans une conférence au CERN l'année passée, a répondu à cette question posée dans la discussion: «1 sur 1 million». (Ce chiffre est d'ailleurs cité par erreur en relation avec le Rapport Tanguy, voir *Tribune de Genève* du 2.3.1990, p. 19.) Je ne pense pas que M. Tanguy prenait sa réponse au sérieux, il voulait simplement se débarrasser de la question. C'est compréhensible car la question ne fait pas de sens, pas plus que la question des délégués d'EOS concernant la compétence des experts.

Qu'est un expert? Je dirais que c'est un spécialiste dans une discipline scientifico-technique qui, de par sa formation et sa spécialisation, ne s'intéresse pas à ou a perdu de vue le cadre plus général de la nature dans lequel son problème se situe. Mais cela veut dire qu'en tant qu'expert, cette personne est incapable d'être en harmonie avec la Nature dans toute sa complexité et son irrationalité, des caractéristiques que la physique moderne a redécouvertes par la mécanique quantique. Le citoyen a donc tort de se laisser intimider par les propos rationnels et chiffrés des experts au lieu de se fier à son bon sens, car la réalité est bien plus complexe. C'est là l'essence du rapport Benecke, auquel la critique (EOS, etc.) reproche l'évidence même, à savoir qu'il ne contient pas de nouveaux chiffres.

Prenons comme exemple la notion du «risque» d'un accident. Mathématiquement, on le définit souvent comme le produit de la «fréquence probable» multiplié par la «gravité» d'accidents. Mais si c'est déjà quasiment impossible de calculer la première des deux notions, la deuxième, elle, est une qualité et donc non quantifiable. Il est vrai que les spécialistes de l'assurance ont une grande compétence dans la détermination du coût d'un accident. Ainsi, on peut lire, par exemple, que l'accident de Tchernobyl a coûté 540 000 millions de francs suisses (\$358 US billions, *Time* du 9.4.90, p. 30), ce qui, certes, exprime une gravité écrasante. Mais ce chiffre ne tient pas compte des drames humains passés, présent et futurs.

4. LE FACTEUR HUMAIN

Mais Revenons au Rapport Tanguy. Il résume les enseignements de l'expérience 1989 en «trois grands thèmes»: les hom-

mes, les organisations et les relations entre les deux. Tout d'abord, «la qualité des hommes, leurs comportements individuels et collectifs, leurs pratiques de travail et plus généralement leur 'culture', ne paraissent pas globalement adaptés à l'enjeu, et ceci à tous les niveaux de responsabilité, et en particulier à celui de la hiérarchie et des 'managers'» (p. 10).

Cette «culture de la sûreté» que M. Tanguy propose pour «une amélioration significative du niveau de sûreté de nos centrales» me semble un peu utopique. Car d'une part la monotonie dans une surveillance est le meilleur signe d'une bonne marche de l'installation. Mais en revanche, cette monotonie représente le plus grand danger pour cette surveillance, qui est très différente de celle des aiguilleurs du ciel, par exemple. En effet, les derniers se trouvent constamment en face d'une situation changeante et n'ont pas le temps de s'ennuyer.

Quant aux organisations, M. Tanguy constate que «c'est le mot 'complexité' qui me paraît le plus approprié... Je ne suis pas convaincu que nos structures actuelles soient à la hauteur de l'enjeu du parc nucléaire.» Et finalement, «il faut qu'à tous les échelons chacun sache ce dont il est responsable.» (p. 11) Il s'agit là d'un problème de hiérarchie qui est très délicat sur le plan psychologique, comme tout le monde le sait. L'exemple d'une catastrophe dont au moins une des causes avait été identifiée avec ce problème est celle du vaisseau spatial Challenger aux Etats-Unis.

En résumé, le Rapport de M. Tanguy impressionne par sa franchise, voire son honnêteté et commande du respect pour son auteur. Ce que M. Tanguy ne discute pas puisqu'il s'agit d'un Rapport annuel, c'est l'avenir du nucléaire. Mais puisque il a été question du vieillissement du nucléaire, la question de son avenir se pose inévitablement.

5. L'AVENIR DU NUCLÉAIRE

Il est malhonnête de parler de l'avenir du nucléaire sans mentionner le problème du sort des installations déjà vieillissantes. Leur fin est le «démantèlement» et le «stockage» des résidus radioactifs, d'abord provisoire pour leur refroidissement et ensuite définitif dans un lieu sûr et inaccessible. La liquidation du nucléaire pose des problèmes aussi difficiles que son installation. Mais puisque la durée de vie des centrales nucléaires est de moins d'un demi-siècle, où alors est cet avenir?

Les problèmes mentionnés sont dus à la radioactivité qui est une loi de la nature sur laquelle l'homme n'a pas

d'influence, sauf par des procédés d'irradiation exceptionnels comme dans un surgénérateur pour décomposer les éléments chimiques lourds à radioactivité de longue durée (des millénaires) en élément à radioactivité de plus courte durée. Par sa décomposition radioactive, un noyau atomique d'une espèce chimique se transforme en un noyau d'une autre espèce tout en dégageant une énorme quantité de chaleur. C'est cette chaleur qui donne à la Terre une température hospitalière et c'est elle qui est exploitée dans les réacteurs, bien qu'avec un rendement pitoyable.

Les problèmes ainsi que le coût en énergie et en argent de la liquidation sont intimidant. «Le démantèlement des installations nucléaires s'annonce comme une immense entreprise, techniquement ardue et financièrement coûteuse.» (*Le Monde* du 20.2.90) D'un point de vue économique réaliste, le prix de revient de l'électricité nucléaire devrait inclure ces frais de liquidation, ainsi que d'ailleurs ceux de l'installation. Il serait fort intéressant de voir le résultat de tels calculs.

Pour avoir une idée des frais de démantèlement et de stockage pour refroidissement, je cite quelques exemples publiés récemment (*Le Monde* du 21.2.90, montants en francs français): pour un réacteur de moyenne puissance (Chinon, 2 210 MW), «n'ayant tourné que vingt ans, et peu pollué», voici ce qui arrive à son cœur: «le gigantesque sarcophage restera debout pendant un demi-siècle, le temps que l'activité, réduite à une centaine de curies» (le curie est l'unité mesurant l'intensité de la radioactivité en 37 000 millions de décomposition par seconde) «permette enfin d'y pénétrer pour le démolir. On estime que la dernière opération coûtera encore 15% du prix de construction. EDF a déjà constitué un trésor de démantèlement de 11,4 milliards de francs, auxquels elle a ajouté 2,4 milliards en 1989.»

Les problèmes de la liquidation des usines de fabrication et de recyclage des combustibles ne s'avèrent pas moins coûteux: «Selon que l'on pousse la démolition plus ou moins loin, les devis vont de 6 à 20 milliards de francs. Dans son budget, la COGEMA vient donc de faire passer la provision pour démantèlement à 1 milliard de francs par an. Quant au CEA, il a inscrit 186 millions de francs pour ces travaux à son budget 1990.» Et puis, il y a toujours le nucléaire militaire qui, lui, passe sous silence.

Voici «un héritage tel qu'aucune génération depuis le début de l'humanité n'avait eu le culot d'en laisser à ses descendants.» (*Le Monde*, l.c.)

Le Conseil national et la drogue nucléaire*

par Ivo RENS

Alors que la lutte contre le trafic de la drogue bat son plein à travers le monde, et que les Etats commencent à s'aviser de la nécessité de combattre le blanchiment d'argent sale, le Conseil national vient de recommander au peuple suisse de rejeter l'initiative populaire préconisant un abandon progressif de l'électronucléaire et celle instituant un moratoire de dix ans dans la mise en place de centrales nucléaires.⁽¹⁾ Ce faisant, la chambre populaire de notre Etat fédéral marque son refus de s'opposer à l'utilisation forcée de cette drogue dure entre toutes que constitue pour nos sociétés l'énergie nucléaire.

Que l'énergie nucléaire soit à nos sociétés industrialisées ce qu'une drogue est à un organisme humain, c'est là une métaphore justifiée puisque les effets de l'une et de l'autre sont parfaitement comparables: comme tout stupéfiant, l'énergie nucléaire profite aux puissances d'argent, elle induit chez les usagers une redoutable accoutumance, elle leur procure un illusoire sentiment de confort, voire d'euphorie, elle sacrifie le long terme au court terme, elle mine sournoisement l'Etat de droit, donc la santé du corps social, par l'inévitable recours au secret, fût-ce pour exorciser le spectre du terrorisme nucléaire, et surtout elle tue, soit à la source, c'est-à-dire lors de l'extraction du minerai dans les mines, soit lors de leur transport ou de leur transformation, soit encore à l'entour des centrales dont on a vu à Tchernobyl qu'elles pouvaient fort bien exploser. Pour ce qui est du problème du stockage des déchets

radioactifs empoisonnés que notre génération léguera aux générations à venir, il constitue, lui, un risque spécifique de l'électronucléaire, mais un risque étalé sur un nombre indéterminé d'individus présents et surtout à venir qui, du seul fait de leur nombre, en rend la probabilité apparemment improbable.

Que l'énergie nucléaire soit une drogue dure, c'est ce qu'atteste la dépendance qu'elle a déjà induite dans presque tous les pays industrialisés, à commencer par la Suisse. En suivant fidèlement le Conseil fédéral, et singulièrement Adolf Ogi dont le crédo nucléaire est bien connu, et en proposant au souverain de rejeter les deux initiatives antinucléaires qui lui seront soumises en septembre prochain, par deux votes respectivement de 102 voix contre 76, avec 3 abstentions et de 118 voix contre 62, avec 3 abstentions, le Conseil national a perdu une occasion de faire montre de discernement et de prudence: nonobstant les mises en garde et admonestations que d'innombrables scientifiques et intellectuels clament vainement depuis tant d'années, le Conseil national suisse n'a cure de l'immense danger pour la biosphère que constituent les déchets nucléaires ni de celui que recèle pour la sécurité internationale la prolifération des installations nucléaires et de matières fissiles susceptibles de multiplier les détenteurs, étatiques ou non, d'armes nucléaires.

Comment expliquer pareil aveuglement? Par la seule force des puissances d'argent? Certes, toutes n'y sont pas étran-

gères, mais elles-mêmes tiennent leur puissance moins de l'argent que de l'exceptionnelle fascination qu'exerce sur nos contemporains l'idéologie technocratique et scientiste dont se réclament les apprentis sorciers qui nous régissent encore. Néanmoins, plusieurs signes qui sont apparus ces années dernières dans la communauté scientifique d'abord, puis dans certains secteurs de l'opinion publique, notamment aux Etats-Unis et en Union soviétique, nous donnent enfin à espérer que, comme ceux d'autres totalitarismes, les jours de cette idéologie sont comptés.

Mais combien faudra-t-il de catastrophes équivalant à Tchernobyl (CET) pour que nos parlementaires et nos gouvernants daignent entrer en matière sur des scénarios énergétiques éliminant le nucléaire? Peut-être le nombre de CET nécessaires à leur ouvrir les yeux sera-t-il inversement proportionnel à la distance les séparant du site des accidents... Ou faudra-t-il attendre l'utilisation d'armes nucléaires soit par un groupe terroriste soit encore dans un conflit régional entre puissances adonnées à «l'atome pour la paix», entre l'Inde et le Pakistan par exemple? Cela dépend aussi de chacun d'entre nous et de notre réponse à la question suivante que tout citoyen responsable devrait se poser régulièrement: «Ai-je fait tout ce qui était en mon pouvoir pour alerter mes semblables sur l'ampleur du désastre que le nucléaire nous promet?»

* Article paru dans *VO. Réalités*, Genève, 15 février 1990.

(1) Précisons à l'intention de nos lecteurs non suisses que l'initiative populaire est une institution qui relève de la démocratie directe et qui permet à un certain nombre de citoyens helvétiques de proposer un amendement à la Constitution fédérale.

De l'utilité des pétitions

Petite histoire d'un Grand Conseil

L'article 11 de la Constitution genevoise stipule que «le droit d'adresser des pétitions au Grand Conseil et aux autres autorités constituées est garanti». Jusqu'à la lecture du *Mémorial du Grand Conseil*, N° 47, 52^e législature, séance du 10 novembre 1989, nous pensions que le droit d'adresser une pétition à l'autorité concernée entraînait pour celle-ci l'obligation d'en prendre connaissance dans un délai raisonnable. Notre illusion s'est envolée comme poussière radioactive au vent!

Lors du congrès quadriennal du Parti socialiste genevois réuni à Lancy les 13 et 14 mars 1981, deux membres du Bureau de l'APAG lui proposèrent une motion intitulée «Super-Phénix» qui fut adoptée à l'unanimité. Elle demandait entre autres choses que le Conseil d'Etat rende publics les plans d'intervention en cas de catastrophe transmis par l'ambassade de France à Berne et veille à ce qu'une stricte parité

soit établie à la commission cantonale de l'énergie entre producteurs d'énergie, défenseur de l'environnement et scientifiques critiques. Le parti socialiste adressa cette motion sous forme de pétition au Grand Conseil. Que croyez-vous qu'il advint? La réponse figure au *Mémorial* précité.

Une commission l'étudia le 10 mars 1898 et en fit l'objet d'un rapport de majorité concluant au dépôt de la pétition «à titre de renseignement sur le bureau du Grand Conseil», conclusion adoptée par le Grand Conseil le 10 novembre 1899. Vous avez bien lu: 1899. Quant au rapport de la minorité, il constate, huit ans après le dépôt de la pétition, que deux des quatre requêtes formulées par celle-ci demeurent toujours d'actualité, puisque aussi bien les plans d'intervention en cas de catastrophe nucléaire n'ont pas été rendus publics et que la commission technique en matière d'énergie comprend une majorité de mem-

bres opposés à la concrétisation de l'article 160c de la Constitution genevoise (adopté le 6.12.1986 en votation populaire à la suite de l'initiative «L'énergie, notre affaire»). La majorité et la minorité de la commission se sont au moins accordées sur un point: «Il est inacceptable qu'une pétition traîne six ans (en fait: huit) dans les tiroirs du Grand Conseil.»

Inacceptable quant à la forme, certes, mais sur le fond? Puisque le temps a permis de régler la moitié des problèmes évoqués dans la pétition, nos députés ont peut-être fait preuve d'un excès de précipitation, tant il est vrai qu'à la longue tous les problèmes se régleront d'eux-mêmes, et définitivement.

Conformément à l'article 11 de la Constitution, adressons nos vœux au Grand Conseil pour qu'aucune catastrophe ne le rattrape avant qu'il n'ait eu le temps de s'en occuper.

Michel Brélaz

Les secrets du dimanche

C'était dimanche, le 22 avril 1990, au retour d'un voyage en Allemagne. A Genève, un faible vent du sud-ouest avait fait place dans la journée à une légère bise et il pleuvait dans la soirée. Dans mes bagages, je ramenaient un moniteur de contamination Berthold LB 122, appareil développé après Tchernobyl et doté d'un petit ordinateur permettant de tenir compte de «l'effet zéro», c'est-à-dire de décaler la radioactivité «naturelle» ambiante et d'afficher la contamination radioactive en becquerels/cm².

Par curiosité, j'ai tenu à essayer l'appareil le soir même, vers 22 heures, avec une

sonde sensible aux rayons bêta-gamma. A l'intérieur, après défalcation d'une radioactivité ambiante de 12,2 impulsions par seconde, pas de contamination. A l'extérieur, placé sous un parapluie sur le pavage mouillé (porphyre sur béton avec mousse dans les interstices), le compteur monte en flèche pour déclencher le signal d'alarme, programmé à 4 becquerels/cm²; cela équivaut aux 40 000 Bq/m² mesurés dans les régions d'Allemagne les plus touchées après Tchernobyl, telle que la rive Nord-Est du Lac de Constance (ailleurs en RFA, la carte de contamination indique entre 0 et 200 Bq/m²). Est-ce que Genève

aurait donc été touchée à ce point par Tchernobyl?

Le lendemain, 23 avril 1990 à 21 heures, sans pluie, je mesure à nouveau les pavés encore un peu humides: 0,75 Bq/cm² — une baisse de plus de 80%. Le surlendemain, 24 avril à 13 h 30, sous une faible pluie, le compteur remonte encore à 0,97-0,98 Bq/cm². Conclusion: la pluie était assez radioactive le dimanche soir, moins les jours suivants. D'où venaient les nuages? S'agissait-il d'un incident isolé ou répété? Qui a vu un communiqué officiel à ce sujet?

N.

ÉNERGIE — INFORMATION

Exemple des méthodes de désinformation pratiquées par les milieux nucléocratiques du Canton de Vaud

par Olivier DELAFONTAINE, naturaliste

Tous les ménages vaudois ont reçu une brochure *Energie-Information*, luxueuse. Sur les pages de couverture évoquant la nature — comme les affiches publicitaires pour certaines marques de cigarettes — on lit: «Réalisée grâce au soutien conjoint des milieux de l'économie vaudoise — agriculture, artisanat, commerce, industrie et service — votre brochure *Energie-Information* a été créée et éditée sous le patronage de:

- la Chambre vaudoise d'agriculture;
- la Chambre vaudoise du commerce et de l'industrie;
- la Chambre vaudoise immobilière;
- les Groupements patronaux vaudois;
- l'Office vaudois pour le développement du commerce et de l'industrie;
- l'Union vaudoise des associations commerciales, industrielles et des métiers.»

POURQUOI CETTE BROCHURE?

Dans une lettre de présentation, accompagnée d'un concours (il faut lire la brochure pour trouver les réponses), les six associations prétendent qu'elles ont exigé que le contenu de la brochure «soit objectif et près des faits (...) afin que nous parlions tous le même langage, notamment quand il s'agira de choisir le futur énergétique de notre pays».

Les premières pages nous renseignent sur les diverses ressources en énergie et sur notre grande dépendance actuelle de l'étranger.

DU MENSONGE

Ici déjà, la brochure minimise le potentiel des énergies renouvelables: «dans l'état actuel des techniques, elles ne pourraient, même exploitées au maximum, contribuer que pour une part mineure à nos besoins en énergie.»

... À LA RÉALITÉ

Les responsables de nos organisations économiques vaudoises peuvent-ils ignorer qu'il suffit, par exemple, de développer dès maintenant les techniques aujourd'hui connues, pour que le soleil nous procure toute l'énergie dont nous avons besoin pour remplacer le plus tôt possible les énergies polluantes et non renouvelables? Et pire encore, comment peuvent-ils se permettre de répandre leur ignorance à 250 000 exemplaires dans le bon peuple?

Ce dernier a le droit d'être correctement informé; il doit savoir que nous avons les moyens de cesser de détériorer la composition de l'atmosphère; et mieux encore, de contribuer à sa régénération.

L'AVANTAGE DE LA DÉCENTRALISATION

La brochure reproche à plusieurs reprises à l'énergie solaire d'être diluée ou disséminée. Or c'est précisément un grand avantage qu'elle soit répandue partout, à disposition de tous. Personne ne peut l'accaparer, la monopoliser, en faire un instrument de domination.

ÉNERGIE DE LA BIOMASSE: UN CIRCUIT FERMÉ QUI NE POLLUE PAS

Les responsables de la Chambre vaudoise d'agriculture ignorent-ils les connaissances élémentaires que l'on exige d'un jeune paysan? Les végétaux fabriquent leurs tissus grâce à l'énergie solaire, l'eau, le gaz carbonique, l'oxygène et l'azote de l'air; quand ils brûlent ou pourrissent, leurs éléments sont réutilisés par d'autres végétaux; c'est globalement un circuit fermé sans pollution ni déchet, contrairement à ce qu'affirme la brochure.

Autre erreur grossière: elle prétend qu'il faut au moins 50 têtes de gros bétail pour produire du gaz de fumier!

ÉCONOMIES ET UTILISATION RATIONNELLE

On y trouve ensuite deux pages d'information correcte sur les économies d'énergie et son utilisation rationnelle. La consommation pourrait être réduite de 30, voire de 50%.

Mais plus loin, on peut lire:

Dans tous les cas, l'électricité restera l'élément sensible de notre politique énergétique. Malgré tous les efforts d'économie, la consommation continuera à croître. Cette hausse est le lot de tout pays industriel avancé qui entend sauvegarder sa prospérité, moderniser son économie, offrir des emplois de qualité à ses jeunes citoyens et accroître la protection de l'environnement (épuration des eaux, des fumées, etc.).

Un tel système, basé sur la croissance sans fin, explose fatalement.

SCÉNARIO POUR 2010

La brochure consacre un grand chapitre à l'énergie nucléaire — la seule que l'auteur du texte semble un peu connaître. Mais il écrit pourtant en résumé que:

- on peut la domestiquer;
- elle constitue une source d'énergie quasi inépuisable;
- la radioactivité est un phénomène naturel;
- elle peut être dangereuse; l'homme sait comment s'en protéger;
- le problème du stockage des déchets radioactifs peut être résolu avec les connaissances actuelles.

Comparée aux autres énergies, renouvelables ou non, selon l'auteur, c'est la seule qui ne présente pratiquement presque pas d'inconvénients, à part la politisation du dossier.

D'où sa conclusion: «avoir le courage politique de faire sauter les verrous qui entravaient le développement aussi bien de l'électricité hydraulique que de l'électricité nucléaire.»

Sans négliger, ajoute-t-il, un recours aux énergies nouvelles dès qu'il sera économiquement et écologiquement supportable; comme s'il ne l'était pas du tout aujourd'hui!

POLLUTION DES ESPRITS

L'aspect le plus «polluant» de cette brochure, c'est de faire croire qu'elle est l'éma-

nation des agriculteurs, des artisans, des commerçants et des industriels vaudois, alors qu'en réalité, leurs dirigeants officiels l'ont réalisée avec leur argent, mais sans leur demander leur avis.

(Je rappelle qu'en 1984, le peuple vaudois avait accepté l'initiative antinucléaire et l'initiative pour les énergies propres et renouvelables.)

Premières fissures dans la désinformation de l'opinion publique française en matière de risque radiologique

par Jan MASOLIJN

La chaîne française de télévision TF1 a diffusé lundi 23 avril et mardi 24 avril 1990, dans le cadre de son Journal télévisé de 13 heures, deux émissions sur l'électro-nucléaire et le risque radiologique qui sont, à notre connaissance, sans précédent dans ce pays.

La première de ces deux émissions, réalisée en duplex avec une équipe envoyée à Tchernobyl, a révélé aux téléspectateurs français l'immensité du désastre qu'a entraîné l'accident survenu à l'unité N° 4 de Tchernobyl le 26 avril 1986. Les dommages subis par la flore, la faune et l'espèce humaine dans des zones jouxtant la centrale, mais aussi dans des régions éloignées de quelque 300 kilomètres de cette dernière, ne peuvent toujours pas être évalués. Loin de s'atténuer, les anomalies génétiques enregistrées en Ukraine et en Biélorussie tendent à se multiplier, surtout parmi les enfants exposés, en raison probablement de la reconcentration des produits de fission et autres actinides dans la chaîne alimentaire. De nos jours, ce sont plus de trois millions de personnes qui doivent être suivies médicalement et les zones évacuées durablement, pour une durée indéterminée qui pourrait être d'un siècle, de la taille d'un département français, sont encore en voie d'extension. Particulièrement impressionnantes sont les vues de la ville de Pripyat privée de ses 50 000 habitants et de celle de Tchernobyl vidée de ses 14 000 habitants. Désespoir, détresse des victimes, impuissance des

autorités condamnées à gérer la déroute dans une atmosphère de catastrophe... Les aspects psychologiques, administratifs, économiques, sociaux et policiers de ce drame n'ont pu manquer d'interpeller les téléspectateurs français dont les informations avaient été censurées par les autorités françaises en avril-mai 1986.

La seconde émission, réalisée en duplex avec une équipe de TF1 à Nogent-sur-Seine, a posé le problème de la désinformation de l'opinion française par M. Pierre Pellerin, directeur du SCPRI (Service central de protection contre les radiations ionisantes). En produisant des documents télévisés d'archives d'avril-mai 1986, les journalistes de TF1 ont surpris cet ardent pourfendeur du «catastrophisme» des anti-nucléaires en flagrant délit de mensonge et, qui plus est, ils ont osé le dire publiquement, ce qui est nouveau en France où l'«establishment» nucléaire a toujours été tabou (mot polynésien signifiant «interdit», «sacré», comme pour nous rappeler le scandale permanent des essais nucléaires perpétrés à Moruroa et Fangataufa, dans les îles Tuamotu). En réalité les autorités compétentes françaises ont caché à leurs administrés que le taux de radioactivité avait été multiplié par 200 à 400, selon les régions, la Drôme et la Corse tenant le premier rang, nonobstant le fameux «anticyclone des Açores» invoqué fallacieusement par les autorités. Discours sécuritaire pitoyable desdites autorités. Les auteurs de l'émission ont aussi

mis en évidence l'ignorance en matière de risque radiologique des Français moyens qui parfois en viennent même jusqu'à tenir les centrales nucléaires pour un élément de leur environnement à protéger! Heureusement que furent aussi interviewées et présentées aux téléspectateurs Mme Monique Sené, physicienne, Présidente du Groupement de scientifiques pour l'information sur l'énergie nucléaire (GSIEN, 2 rue François-Villon, F-91400 Orsay) qui, avec un courage et une persévérance dignes d'éloges, édite depuis 1976 *La Gazette Nucléaire* (qui vient de sortir son 100^e numéro) ainsi que Mme Michèle Rivasi, Présidente de la Commission Régionale Indépendante d'Information sur la Radioactivité (CRII-Rad, 8 rue Louise Gémard, F-26200 Montélimar) qui édite depuis 1986 *Le Cri du Rad* où sont publiées des mesures de radioactivité opérées dans ses propres laboratoires.

Avec ses quelque 55 centrales nucléaires en fonctionnement, sans compter d'autres installations plus dangereuses encore, comme l'usine de retraitement des combustibles nucléaires usés de La Hague, dans le Cotentin, en Normandie, la France a de sérieuses chances d'être le théâtre d'un prochain accident nucléaire sur le modèle de celui de Tchernobyl.

Si c'est à sa privatisation que TF1 doit son audace, vive la privatisation!
Audaces Fortuna juvat!

Les procédures judiciaires contre le redémarrage de la Centrale SuperPhénix de Creys-Malville

(Suite)

par Ivo RENS

Résumé. — Dans la première partie de cet article, parue dans le numéro 1 de 1989 de la *Gazette de l'APAG* en mars 1989, nous avons expliqué comment, dès le 10 novembre 1988, quelques associations antinucléaires ou pour la démocratisation des choix énergétiques, genevoises ou suisses romandes, à commencer par CONTRATOM, la Société pour la protection de l'environnement (SPE) et l'APAG, ainsi qu'une association française de protection de la nature, la Fédération Rhône-Alpes de protection de la nature (FRAPNA), persuadèrent le WWF-Genève de se joindre à une manifestation à la frontière franco-suisse et comment la secrétaire générale du WWF-Genève, Mme Françoise Chappaz, a réussi à convaincre le WWF-Suisse de constituer avec toutes ces associations un avocat genevois, M^e Robert Cramer, et deux avocats parisiens, MMes Christian Huglo et Corinne Lepage-Jessua, pour entreprendre toutes démarches juridiques afin d'empêcher le redémarrage de la Centrale SuperPhénix de Creys-Malville ou, le cas échéant, d'en suspendre le fonctionnement. Nous avons également relaté dans quelles conditions la Ville de Genève se joignit le 30 novembre 1988 aux recours déposés ou en voie de l'être par les associations initiatrices, devant le Tribunal administratif de Grenoble d'une part et devant la plus haute juridiction administrative française, le Conseil d'Etat, à Paris, d'autre part, et comment elle fut suivie par plusieurs communes genevoises. Enfin, nous avons exposé les hésitations du Gouvernement genevois qui finalement se résolut, le 8 février 1989, à entamer des procédures distinctes de celles des associations et collectivités territoriales genevoises sus-mentionnées en constituant un avocat genevois en la personne de M^e Manfrini et un avocat parisien en la personne de M^e Blondel. Dans le titre de cet article, l'expression «procédures judiciaires» doit être entendue au sens large englobant le contentieux administratif et non point au sens étroit qui l'exclurait.

LE LABYRINTHE DES PROCÉDURES

Depuis la publication de la première partie du présent article dans le numéro 1 de 1989 de la *Gazette de l'APAG*, le nombre des parties recourantes, celui des instances saisies, celui des procédures, celui des incidents de procédures et la complexité du tout se sont accrus dans de telles proportions que le public cultivé mais non spécialiste auquel s'adresse en principe notre périodique risque fort d'y perdre son latin. Nous nous efforcerons donc de présenter ci-après les parties recourantes, en signalant celles qui se sont jointes dans l'année écoulée et celles susceptibles de se joindre prochainement à elles, d'indiquer ensuite les instances saisies, en précisant ce dont elles sont saisies, puis d'évoquer les procédures engagées et celles susceptibles de l'être en signalant quelques-uns des incidents de procédures survenus, parmi les plus significatifs, et enfin d'évaluer les chances d'aboutissement de ces différentes procédures et leur efficacité dans la résistance à la mise en place de la «société du plutonium», c'est-à-dire de cet espace secret, policier, autoritaire et même totalitaire que les promoteurs de l'électro-nucléaire en général et des surgénérateurs en particulier ont réussi à amorcer, à l'échelle internationale, dans des sociétés dont la plupart se réclament pourtant de l'Etat de droit et des droits de l'Homme.

LES PARTIES AUX RECOURS

Outre les associations déjà signalées (APAG, CONTRATOM, SPE, WWF-Genève, WWF-Suisse) se joignirent aux recours, depuis la parution de la première partie de cet article, les associations suivantes: «Physicians for Social Responsibility» (branche suisse de l'Association des médecins pour la prévention de la guerre nucléaire, Prix Nobel de la Paix 1985), l'Association suisse des médecins en faveur de l'environnement et enfin «L'avenir est notre affaire» (Comité de femmes pour la survie et l'information sur les dangers du nucléaire), soit en tout, à la mi-mars de 1990, **8 associations**, de tailles et d'importances très différentes.

Outre la Ville de Genève et les communes genevoises mentionnées par nous dans la première partie de notre article (Confignon et Avully), se joignirent ensuite aux recours déclenchés par les associations les communes genevoises de Chêne-Bougeries, Chêne-Bourg, Puplinge, Russin, la ville de Lancy et la ville neuchâteloise de La Chaux-de-Fonds dont la présence parmi les recourants confirme le caractère non exclusivement genevois de ces derniers. **Les collectivités publiques suisses engagées à la mi-mars de 1990 sont donc au nombre de 9.** Comme les associations concernées, elles sont de tailles et d'importances fort variées.

Si, en l'état, les communes françaises de la Région Rhône-Alpes paraissent peu enclines à rejoindre les recourants, il se pourrait que des collectivités publiques d'autres régions de France, d'Italie, de la République fédérale d'Allemagne et, bien sûr, de Suisse rejoignent le présent noyau des recourants.

Par ailleurs, la **République et Canton de Genève**, rappelons-le, a elle aussi engagé des recours également tant devant le Tribunal administratif de Grenoble que devant le Conseil d'Etat de Paris. Elle l'a toutefois fait de façon séparée en se prévalant, pour ce faire, de sa qualité de titulaire partiel de la souveraineté de droit public international, ce qui lui conférerait des responsabilités spécifiques sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

LES INSTANCES SAISIES

La pluralité des instances saisies s'explique par la nécessité où se sont trouvés les demandeurs de mettre en cause non seulement la décision du ministre de l'industrie (M. Fauroux) en date du 12 janvier 1989 de faire redémarrer le SuperPhénix, puis la décision provisoire de fonctionnement prise le 30 août 1989 par le même ministre, mais «limité à l'utilisation du combustible présent dans le cœur» et interdisant «aucun rechargement avant la mise en service du

nouveau poste de transfert de combustible (PTC) prévue en 1991», décisions qui toutes sont du ressort du **Tribunal administratif de Grenoble** compétent *ratione loci*, mais également le décret du 10 janvier 1989 du Gouvernement français modifiant celui en date du 12 mai 1977 autorisant la création par la société NERSA d'une Centrale à neutrons rapides de 1200 MWé sur le site de Creys-Malville, qui, en tant que acte du Pouvoir exécutif de la République française n'est justiciable, en premier et dernier recours, que devant l'instance suprême en matière de contentieux administratif, soit le **Conseil d'Etat de Paris**.

Les parties demanderesse, soit d'une part les villes, communes et associations sus-mentionnées, d'autre part le Gouvernement de la République et Canton de Genève, se sont donc vues dans l'obligation d'intenter des actions relevant du contentieux administratif tant devant le Tribunal administratif de Grenoble que devant le Conseil d'Etat.

Toutefois, pour des raisons de convenance, les avocats des villes, communes et associations ont déposé des actions séparées pour leurs différents clients, de façon à éviter que le sort des unes ne soit nécessairement lié à celui des autres. Ainsi, par exemple, le 28 février 1989, le Tribunal administratif de Grenoble a-t-il renvoyé devant le Conseil d'Etat des procédures dont il avait été saisi par la Ville de Genève et plusieurs des associations sus-mentionnées en raison des rapports de connexité existant entre les actions engagées par elles à Grenoble et Paris. En revanche, les recours déposés peu après, soit le 10 mars 1989, par les communes genevoises d'Avully et Confignon auxquelles se joignirent le 5 juin 1989 la Ville de Lancy ainsi que les communes de Chêne-Bougeries, Chêne-Bourg, Puplinge, Russin et l'association «Physicians for Social Responsibility» restèrent soumis au seul Tribunal de Grenoble, les parties en cause ayant omis de saisir parallèlement le Conseil d'Etat de Paris.

Le recours déposé par les avocats du Gouvernement de la République et Canton de Genève devant le Tribunal administratif de Grenoble fut renvoyé par ce dernier au Conseil d'Etat de Paris comme celui introduit par la Ville de Genève et consorts.

Plusieurs des associations demanderesse insistèrent pour que leurs avocats portent plainte pénale contre l'EDF pour

exploitation illégale du SuperPhénix, en lieu et place de la NERSA, mais les collectivités publiques suisses préférèrent freiner leurs ardeurs pour ne pas envenimer le différend. Ainsi, les instances judiciaires françaises de droit pénal n'ont-elles pas, ou pas encore, été saisies.

Restait la dimension proprement internationale du décret du 10 janvier 1989 et de l'autorisation de redémarrage dont les avocats des parties demanderesse mesurèrent d'emblée qu'ils violaient l'article 34 du Traité d'Euratom imposant à tout Etat membre d'obtenir l'avis conforme de la Commission des Communautés européennes au cas où il voudrait procéder sur son territoire à «des expériences particulièrement dangereuses... susceptibles d'affecter les territoires des autres Etats membres». L'instance compétente ici est la **Cour de justice des Communautés européennes**, dont le siège est à Luxembourg. Mais, avant de saisir cette Cour, les avocats des villes, communes et associations devaient-ils encore dénoncer la violation du Traité d'Euratom devant la **Commission des Communautés européennes à Bruxelles**, ce qu'ils firent le 26 septembre 1989.

N'ayant pas pleine compétence en matière de droit international public, la République et Canton de Genève ne put suivre cet exemple. Et, pour ce qui est du Gouvernement fédéral de la Confédération suisse, il y a peu de chance qu'il défende en l'occurrence le point de vue et les intérêts de Genève car il a pris soin de se fier à une commission d'experts fédéraux en matière de surrégénérateurs qui a la particularité de s'aligner unanimement sur l'avis des instances officielles françaises en matière de sûreté et de sécurité nucléaires, comme l'atteste l'«intervention de Pierre Lehmann et de Lucien Borel auprès de M. Adolf Ogi», conseiller fédéral, le 4 septembre 1989 à Berne, dont nous avons publié le texte intégral dans le numéro 4 de 1989 de la *Gazette de l'APAG* et comme l'atteste aussi l'échange de correspondance entre MM. Pierre Lehmann et Ogi dont nous avons entrepris la publication dans la même livraison de notre périodique et dont on trouvera une suite dans le présent numéro. Toutefois, compte tenu des mutations récentes intervenues dans la doctrine officielle française en matière de sûreté et de sécurité des installations nucléaires, mutations qu'illustre notamment le Rapport Tanguy dont il est question ailleurs dans ce numéro, il y a tout lieu de penser que les capacités dialectiques des experts

fédéraux suisses seront mises à rude épreuve. Peut-être même certains d'entre eux trouveront-ils leur chemin de Damas!

PROCÉDURES ET INCIDENTS DE PROCÉDURES

Le droit processuel applicable dans les deux premières instances citées ci-dessus est celui régissant le contentieux administratif français. Il a notamment imposé aux parties demanderesse de recourir aux services d'avocats accrédités auprès du Conseil d'Etat de Paris. Ce sont, pour les villes, communes et associations M^e Christophe Nicolay et pour la République et Canton de Genève M^e Carole Thomas-Raquin.

Le lecteur aura compris par ce que nous avons déjà dit des procédures à propos des parties demanderesse et des instances saisies qu'elles sont nombreuses. Quant aux incidents de procédures, ils ne le sont pas moins en raison de l'extrême complexité de l'affaire, de ses dimensions technologiques, des différences d'appréciation ou même des incertitudes entourant plusieurs aspects de ces dernières, et enfin de l'avantage que le droit processuel français accorde aux pouvoirs publics français, avantages qui contraignent les parties demanderesse à présenter notamment des requêtes aux fins de constats d'urgence et aux fins de sursis à exécution, c'est-à-dire la restitution de l'effet suspensif, les recours de contentieux administratif n'ayant pas automatiquement un effet suspensif en droit français.

Nous avons déjà relaté, l'an dernier, dans la première partie de cet article, quelques incidents de procédures et tout particulièrement celui relatif à la décision du Tribunal administratif de Grenoble de nommer un expert en la personne de M. Jean Pronost pour procéder à deux vérifications importantes. Aux termes de deux visites à la Centrale, la première effectuée avec les représentants des parties, la seconde faite seul, M. Jean Pronost rendit au début du mois de février 1989 un pré-rapport clair-obscur qui, cependant, pour l'essentiel confirmait les allégations des villes, communes et associations.

Un autre incident de procédure eut lieu suite à la demande de sursis à exécution (restitution de l'effet suspensif) des communes d'Avully et de Confignon, qui sur ce point, toutefois, pour des raisons d'opportunité, ne furent pas rejointes

ensuite par les autres recourants dont nous avons déjà parlé. Le Tribunal administratif de Grenoble fixa l'affaire à plaider à son audience du 21 juin 1989. Lors de cette audience, la parole fut donnée au Commissaire du Gouvernement, soit à un juge du Tribunal qui ne serait pas appelé à prendre part à la rédaction du jugement mais à donner son avis juridique. Ce dernier concluait en la recevabilité du sursis à exécution, ce qui devait se traduire par l'injonction ordonnée par le Tribunal administratif de Grenoble à l'exploitant de la Centrale d'arrêter le fonctionnement de cette dernière pendant toute la durée de la procédure. Néanmoins, cet avis ne fut pas suivi, ce qui est rare, et le lendemain, soit le 22 juin, le Tribunal administratif de Grenoble rejeta la requête aux fins de sursis à exécution présentée devant le Tribunal administratif de Grenoble par les communes d'Avully, de Confignon et consorts. Bien entendu, la même demande devra être tranchée par le Conseil d'Etat de Paris dans le cadre des recours déposés devant le Tribunal administratif de Grenoble par les autres parties demandresses, recours dont la jonction avait été décidée par ce Tribunal avec les recours pendant devant le Conseil d'Etat de Paris, comme nous l'avons exposé ci-dessus. Et, en tant que juridiction suprême en matière de contentieux administratif, le Conseil d'Etat n'est nullement lié par le jugement rendu par le Tribunal administratif de Grenoble.

Autre cas, plus récent celui-là, d'incident de procédure: Le recours déposé le 10 mars 1989 par les communes d'Avully et de Confignon, auxquelles s'étaient jointes ensuite les autres parties sus-mentionnées, contre l'autorisation de redémarrage donnée par le Ministre Fauroux le 12 janvier 1989 donna lieu à un jugement du Tribunal administratif de Grenoble le 7 mars 1990. Le dispositif de ce jugement est libellé comme suit:

«Article 1: Il est avant dire droit, ordonné une expertise par un seul expert.

Article 2: L'expert aura pour mission:

- de se rendre sur les lieux, prendre connaissance de tout document utile;
- de dire si à son avis il peut y avoir urgence à décharger le cœur du réacteur de la centrale nucléaire de Creys-Malville;
- dans l'affirmative, d'indiquer si les dispositifs techniques permettant le dé-

chargement sont en place, depuis quelle date, et s'ils sont en état de remplir leur office;

- d'apporter en général au Tribunal tous éléments d'appréciation.

Article 3: Pour l'accomplissement de sa mission, l'expert disposera des pouvoirs d'investigation les plus étendus. Il pourra entendre tout en sachant recueillir tous renseignements et documents, opérer toutes constatations et vérifications propres à éclairer le Tribunal.»

L'expert désigné en l'occurrence fut à nouveau M. Jean Pronost qui se vit imposer un délai d'un mois pour rendre son rapport. Il fixa aussitôt rendez-vous aux représentants des parties le lundi 26 mars 1990 au siège parisien du Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires (SCSIN) et le 2 avril à la Centrale de Creys-Malville. L'APAG fut représentée par MM. Borel et Lehmann à la première de ces deux réunions et par M. Borel à la seconde. M^e Lepage-Jessua fit partie de l'une et l'autre ainsi que Mme Françoise Chappaz.

Alors que le Rapport de M. Pronost n'était pas encore rendu public — il ne l'est toujours pas fin avril, à l'époque où nous écrivons ces lignes — le Gouvernement français posa une fois de plus un de ces actes typiques des processus de décision en matière de nucléaire: il autorisa le redémarrage du SuperPhénix qui eut lieu le samedi 14 avril, donc avant même que le Tribunal administratif de Grenoble se fût prononcé sur l'existence et le fonctionnement d'un dispositif permettant le déchargement de la Centrale au cas où il y aurait urgence à le faire, marquant du même coup le peu de cas qu'il fait des tribunaux administratifs et son attachement à la vieille pratique du fait accompli. Le Gouvernement genevois émit une très ferme protestation contre la décision intempestive du Gouvernement français intervenant avant même le jugement du Tribunal administratif de Grenoble, protestation d'autant plus significative de son engagement contre le SuperPhénix qu'il n'était pas impliqué dans la procédure d'opposition au redémarrage du SuperPhénix.

CHANCES D'ABOUTISSEMENT DES PROCÉDURES

Pour apprécier les chances d'aboutissement des procédures, il convient de bien

garder présente à l'esprit la distinction entre

1. les procédures engagées par les villes, communes et associations et celles menées par la République et Canton de Genève,
2. les procédures dont est saisi le Tribunal administratif de Grenoble et celles dont est saisi le Conseil d'Etat de Paris,
3. la procédure à peine amorcée par les villes, communes et associations et elles seules à la Commission des Communautés européennes de Bruxelles et celle qui aura lieu par devant la Cour de justice des Communautés européennes à Luxembourg.

A s'en tenir aux résultats relatifs à des incidents de procédure d'ores et déjà enregistrés par les avocats des villes, communes et associations, qui ont une bonne longueur d'avance sur leurs confrères représentant la République et Canton de Genève, les pronostics (sans jeu de mot sur le nom de l'Expert!) peuvent être qualifiés de relativement favorables. En effet, jusqu'ici rien n'indique que la *favor potestatis* dont les magistrats du Pouvoir judiciaire et, à plus forte raison, ceux du contentieux administratif français, ont souvent fait montre dans le passé doive en l'espèce aboutir à débouter les recourants.

Toutefois, et paradoxalement peut-être, il s'en faut de beaucoup, pensons-nous, que ces derniers tirent le meilleur parti des cartes qu'ils ont dans leur jeu.

D'abord, les mémoires préparés par les avocats tant des villes, communes et associations que de la République et Canton de Genève souffrent d'une timidité excessive dans l'ordre de la sémantique. A certains égards même, ils perpétuent et donc amplifient à leur insu sur plusieurs points importants les thèses de leurs adversaires en continuant à se référer comme ces derniers à l'«incident du barillet» alors que toute personne de bonne foi ne peut manquer de reconnaître qu'il ne s'est nullement agi d'un incident mais d'une avarie irréparable changeant du tout au tout le mode de fonctionnement de la Centrale.

En deuxième lieu, les mémoires préparés par les deux groupes d'avocats ne tirent pas tout le parti qu'ils pourraient du Rapport Benecke-Reimann commandité par l'APAG ni de la disponibilité de nombreux scientifiques de l'APAG. D'ailleurs, la coordination des collectivités publiques et associations s'est progressive-

ment quelque peu relâchée de sorte que trop souvent seulement un ou deux scientifiques de l'APAG sont mis à contribution sans même qu'ils aient eu le temps de consulter les autres scientifiques compétents, même parmi les membres du Bureau de l'APAG, dont la présidence même n'est plus toujours informée.

En troisième lieu, il y a eu *de facto*, de la part des avocats de l'Etat de Genève, refus de toute concertation avec les avocats constitués par les villes, communes et associations, à un point tel que les initiateurs des procédures et leurs conseils juridiques ignoraient tout du contenu des recours déposés par leurs confrères. De là à conjecturer un manque de diligence, voire un médiocre plagiat, il n'y avait qu'un pas qui a vite été franchi par quelques membres des associations concernées. Heureusement, ces suspicions se sont évanouies lorsque le président du Gouvernement genevois, M. Dominique Föllmi, a accepté, par une lettre datée du 12 mars

1990 au signataire de ces lignes, de remettre les mémoires préparés par les avocats de l'Etat genevois, mémoires qui se sont avérés être d'une excellente qualité juridique et d'une fermeté irréprochable. Toutefois, quelles que soient les réserves que sa compétence limitée en droit international public doit imposer à la République et Canton de Genève, il nous apparaît hautement souhaitable pour l'heureux aboutissement des procédures qu'une réelle concertation s'établisse entre ses avocats et ceux des villes, communes et associations, donc les nôtres.

Ces remarques étant posées, il faut bien convenir que les juridictions du contentieux administratif français seront d'autant plus réceptives aux arguments des parties recourantes que ces dernières seront plus représentatives, surtout du fait du nombre et de la diversité des collectivités publiques. A cet égard, la situation est certes plus favorable qu'il y a une année, mais il serait très désirable que des collecti-

vités publiques françaises, italiennes et allemandes viennent se joindre à celles, toutes suisses, qui se sont d'ores et déjà engagées.

Toutefois, c'est peut-être de la juridiction supranationale qu'est la Cour de justice des Communautés européennes à Luxembourg qu'il y a le plus à attendre. Cette instance s'est acquise, en effet, une grande réputation du fait de l'indépendance et de la rigueur avec lesquelles elle a réussi à «dire le droit», dans plusieurs affaires délicates en faisant abstraction des Puissances impliquées. C'est donc probablement avant tout sur elle qu'il convient de miser pour l'heureux aboutissement des procédures engagées contre le redémarrage de SuperPhénix, prototype gravement avarié, et plus généralement contre ce mythe éponyme de la démesure du risque mégatechnologique majeur qui a nom SuperPhénix.

(A suivre)

Correspondance Malville

Suite de la correspondance échangée entre M. Pierre LEHMANN, ingénieur-physicien, membre du Bureau de l'APAG et M. Adolf OGI, conseiller fédéral⁽¹⁾

LE CHEF
du Département fédéral
des transports,
des communications
et de l'énergie

3003 Berne, le 4 déc. 1989

Monsieur P. Lehmann
SEDE SA
Rue du Midi 33
1800 Vevey

Pierre Lehmann
c/o Société d'Etude
de l'environnement
Rue du Midi 33
1800 Vevey (Suisse)
Tél. 021/921.05.15

SEDE SA
Monsieur A. Ogi
Chef du Département
fédéral des transports,
des communications
et de l'énergie
3003 BERNE
1800 Vevey, le 7 déc. 1989

Monsieur,

Votre lettre du 3 novembre 1989, dont je vous remercie, appelle (en dépit de votre dispense!) la réponse suivante:

Si je vous comprends bien, vous rejetez d'emblée toute technique, et quelle que soit son utilité, pouvant provoquer des accidents très graves même si ceux-ci sont scientifiquement hautement improbables mais pas inimaginables. Dès lors, votre critique de l'appréciation que nous faisons des risques de Superphénix s'applique à tout le domaine de l'énergie nucléaire.

Remarquez qu'en ce XX^e siècle finissant, il existe de multiples risques techniques, de nature nucléaire ou non nucléaire. La décision de les assumer se manifeste sous des formes diverses. Ainsi, les citoyens et citoyennes de ce pays ont plus d'une fois exprimé, dans des scrutins, leur appui à l'énergie nucléaire. J'en déduis que la majorité s'accommode des risques particuliers de cette technologie. Or on a montré que la probabilité d'un accident extrêmement grave n'est pas plus élevée avec Superphénix qu'avec un réacteur moderne à eau légère. J'estime donc que nous n'avons pas à nous opposer à ce surgénérateur.

Quant à nos importations de courant électrique et à nos souhaits en matière de transport, vous m'avez mal interprété. Je disais qu'il serait peu crédible de demander à la France de moderniser les infrastructures de ses transports publics en faveur de la Suisse et tout en important du courant électrique, de s'opposer à Superphénix qui présente un risque pas plus élevé que celui d'une de nos propres centrales nucléaires.

Veuillez agréer, Monsieur, l'assurance de ma considération distinguée.

*

A. Ogi

Concerne: Votre lettre du 4 crt.

Monsieur,

Je vous remercie pour votre lettre du 4 crt et me réjouis de ce que vous ayez choisi de poursuivre la discussion. J'apprécie à sa juste valeur votre volonté de communication et de dialogue.

Je ne rejette pas nécessairement toute technique pouvant conduire à des accidents, même assez graves, à condition toutefois que les conséquences de ces accidents aient des limites dans le temps et dans l'espace que l'on puisse établir avec un minimum de certitude. Si un barrage hydroélectrique cède, il y aura sûrement beaucoup de morts, mais on peut compter les morts et les blessés et déterminer l'ampleur des dégâts peu après l'accident. La zone sinistrée reste, de plus, habitable, moyennant une certaine restauration.

On ne pourra probablement jamais faire le bilan de l'accident de Tchernobyl. A l'heure qu'il est, plus de trois ans après l'accident, on doit encore évacuer des zones contaminées. On essaie de suivre la santé de 640 000 personnes, dont plus de 200 000 enfants. On ne peut pas dire quel sera leur destin. On peut seulement dire que certains parmi eux tomberont malades demain, dans un mois, dans dix ans, dans vingt ans. Les territoires évacués seront habitables de nouveau dans dix ans ou vingt ans ou cinquante ans. On ne sait pas au juste. La contamination radioactive a atteint quasiment toute l'Europe. On ne peut pas dire avec une quelconque certitude quelles en seront les conséquences à long terme. L'accident n'est manifestement circonscrit, ni dans le temps, ni dans l'espace. De plus, il a affecté des personnes qui n'ont retiré aucun avantage de l'électricité produite par Tchernobyl.

La même chose peut arriver à Superphénix. Cela peut même être bien pire. La même chose peut arriver aussi avec une centrale nucléaire classique comme celles que nous avons en Suisse. Le risque m'apparaît tout de même plus petit pour ces centrales-là que pour Superphénix. Les raisons sont données dans le rapport BENECKE. Les experts pro-nucléaires n'ont pas, à mon avis, infirmé les conclusions de ce rapport, dont l'une des plus importantes est que l'estimation de probabilités d'accident majeur n'est pas crédible parce que non fondée scientifiquement. De plus, la sécurité des centrales nucléaires dépend de facteurs humains non prévisibles par le calcul. Lorsque j'ai visité récemment la centrale nucléaire de Gösgen, la personne qui conduisait la visite a déclaré que, sans une protection policière sérieuse et permanente, elle ne se sentait pas à l'aise dans la centrale. La sécurité nucléaire dépend donc aussi d'un contrôle policier. Et les personnes qui exercent ce contrôle ne sont pas infailibles.

Superphénix conduit, en plus, à une multiplication des risques du nucléaire à cause du retraitement du combustible que cette technique suppose. Avec la surgénération, on se propose de manipuler par tonnes un produit, le plutonium, qui est dangereux pour l'homme au niveau du microgramme. Qui peut garantir qu'une telle entreprise ne crée pas à plus long terme des dangers insurmontables?

Dans le document que le Prof. BOREL et moi-même vous avons remis lors de notre visite dans vos bureaux le 4 septembre de cette année, nous avons mis en évidence que le risque nucléaire, et de manière plus aiguë, celui lié à Superphénix, n'étaient tout simplement pas comparables aux autres risques technologiques.⁽²⁾ Nous pensons que ces risques nucléaires sont inacceptables, surtout si l'on considère qu'ils ne sont pris que pour nous permettre de gaspiller de l'électricité pendant encore quelques années. Le nucléaire n'est pas une énergie renouvelable et, tôt ou tard, il faudra bien s'en passer.

(1) La première partie de ce dossier a été publiée par la Gazette de l'APAG, N° 4 de 1989 (NdR).

(2) Ce document a été publié par la Gazette de l'APAG, N° 4 de 1989 (NdR).

Il vous intéressera peut-être de savoir qu'avec M. Alain CUDET de CONTRATOM et Françoise CHAPPAZ du WWF, j'ai eu un entretien avec M. Pierre MAUROIS, Secrétaire général du Parti socialiste français. Nous lui avons fait part de notre inquiétude au sujet de Superphénix en particulier et du programme nucléaire français en général. Si M. MAUROIS a défendu ce dernier, il s'est montré évasif quant à Superphénix, laissant entendre qu'il n'y avait plus d'unanimité dans les milieux scientifiques et politiques français pour le maintien en fonctionnement de ce prototype. Il n'est donc pas exclu que le bon sens finisse par l'emporter. Je persiste à penser qu'une prise de position ferme de votre part pourrait accélérer le processus.

En 1988, la Suisse a exporté, en bilan annuel, 9 621 GWh d'électricité, ce qui représente tout de même 21,7% de la consommation finale du pays ou le 16,7% de la production totale d'électricité. La Suisse exporte son courant aux heures de pointe parce que cela rapporte. Elle importe, mais en quantités moindres, du courant bon marché pendant les heures creuses. Il est donc difficile de soutenir que la Suisse soit tributaire de la production nucléaire française, encore moins de celle de Superphénix qui, au demeurant, ne produit quasiment rien. D'après son directeur, M. SCHMITT, la centrale a de nouveau été arrêtée le 7.9.89 et, depuis sa mise en service en 1986, elle n'a fonctionné que l'équivalent de 160 jours à pleine puissance. La surgénération ne semble pas être une proposition énergétique crédible, mais ses dangers inacceptables n'en restent pas moins bien présents. La faillite de Superphénix met en question l'ensemble du nucléaire et il faut, dès aujourd'hui, prévoir le remplacement de cette source d'énergie pour le moins douteuse par des ressources renouvelables et par les économies d'énergie. Vous vous êtes attachés à promouvoir les économies d'énergie et votre département soutient la recherche dans le domaine des énergies renouvelables. Ces efforts judicieux, s'ils sont poursuivis avec vigueur, porteront leurs fruits et nous permettront certainement de sortir du nucléaire plus vite que nous ne l'avons imaginé.

Je vous remercie pour votre attention à une lettre qui est devenue un peu plus longue que je n'aurais voulu. Je vous remercie aussi pour votre ouverture au dialogue. Dans l'espoir de vous lire à nouveau, je vous présente à vous et à votre famille, mes meilleurs vœux pour les fêtes de fin d'année et pour 1990.

Veuillez croire, Monsieur, à ma considération distinguée.

P. Lehmann

Copie pour information à:

M. Lucien BOREL, Florimont 19, CH-1066 Epalinges.

*

LE CHEF
du Département fédéral
des transports,
des communications
et de l'énergie

3003 Berne, le 4 janv. 1990

Monsieur P. Lehmann
c/o SEDE SA
Rue du Midi 33
1800 Vevey

Monsieur,

Votre lettre du 7 décembre 1989 m'est bien parvenue et je vous en remercie. Je me prononce comme suit sur un certain nombre de thèmes que vous abordez.

Les accidents et la technologie

Lorsqu'un individu perd sa vie, peu lui importe la façon dont il l'a perdue (accident de barrage, de la route ou Tchernobyl par exemple). Le drame pour ses proches c'est qu'il n'est plus là.

Pour les autres se pose alors la question de limiter les risques de façon à ne pas perdre la leur de la même manière. On améliore ainsi les techniques afin de les rendre plus sûres, plus fiables. Dans ce sens le bilan de l'industrie nucléaire est positif par rapport aux autres techniques énergétiques.

Bilan de Tchernobyl

Comme vous le dites, la zone sinistrée sera habitable dans 10, 20 ou 50 ans. Effectivement pour ce type d'accident la remise en état est plus lente que pour un accident de barrage, mais n'est pas illimitée ou indéfinie dans le temps. Le nombre de vies humaines détruites restera lui limité (cf. communication soviétique à l'AIEA).

Vous parlez des faibles doses et de leurs conséquences inconnues pour les régions éloignées de l'accident et donc de la Suisse. A ce sujet je vous rends attentif au rapport de la Commission fédérale de surveillance de la radioactivité.

Je cite ce rapport page 6.19:

«Dans les 30 prochaines années la population suisse accumulera en moyenne une dose de 0,7 mSv imputable à l'accident de Tchernobyl; cette charge est inférieure à 1% de la dose naturelle par génération. [...] C'est pourquoi on ne s'attend guère en Suisse à ce que des atteintes à la santé puissent résulter de l'accident de Tchernobyl.»

Sûreté et sécurité dans l'industrie nucléaire

Vous vous dites préoccupé par les risques nucléaires provenant du retraitement du combustible. Sans vouloir minimiser les problèmes de manutention, de protection des travailleurs posés par ces travaux, ils ne diffèrent pas sensiblement, en ce qui concerne le risque, d'autres manipulations délicates effectuées dans l'industrie chimique, par exemple.

Pour ce qui est du risque couru par notre pays en raison de Superphénix, les experts de la Confédération ne l'estiment pas supérieur à celui d'une centrale à eau légère. Je leur fais confiance, ce sont des hommes qui exercent leur métier avec compétence et sérieux.

Quant au risque d'attentat aux sites ou installations nucléaires je vous rends attentif au fait que d'autres domaines de notre société sont aussi concernés par ces menaces ou activités. En outre j'ai le regret de constater qu'il y a des militants antinucléaires qui provoquent par des actions illégales une augmentation des mesures de sécurité.

En ce qui concerne le solde exportateur d'électricité s'il est vrai qu'en 1988 il se montait à 9 621 GWh il convient de noter que pour 1989 celui-ci sera inférieur à 3 042 GWh (solde à fin novembre).

Avenir énergétique

Je suis tout à fait d'accord avec vous lorsque vous dites que l'énergie nucléaire n'est pas une énergie renouvelable pas plus que le pétrole, le gaz ou le charbon.

Mon département, comme vous le savez, est actif dans la recherche d'autres techniques productrices d'énergie (photovoltaïque, piles à combustible, géothermie, éoliennes etc.). Je n'oublie pas non plus le potentiel d'économie d'énergie qui existe dans notre société. Là aussi vous connaissez les efforts et les investissements effectués par mon département.

Comme vous, je souhaite que ces efforts portent rapidement des fruits et nous permettent ainsi d'assurer une relative indépendance énergétique, un confort satisfaisant pour tous et une charge minimale pour l'environnement.

Simplement je constate aujourd'hui que le recours au nucléaire permet d'éviter une consommation d'agents fossiles dont on commence à mesurer les méfaits pour l'environnement. Par ailleurs cet agent

énergétique, qui représente au niveau mondial une réserve d'énergie considérable, permet une diversification dans l'approvisionnement énergétique.

C'est pourquoi le Conseil fédéral désire maintenir praticable l'option nucléaire.

Voilà, Monsieur, mes remarques personnelles à la lettre franche que vous m'avez fait parvenir. Vous travaillez au développement de secteurs énergétiques porteurs de fruits importants pour une autre génération que la nôtre. Dans ce sens nos efforts sont complémentaires.

Ma tâche à Berne c'est aussi d'assurer la gestion de la situation actuelle avec ses avantages et ses faiblesses. Je souhaite que 1990 nous laisse, à vous comme à moi, plus de temps que 1989 ne l'a fait, afin de faire progresser concrètement la recherche et le développement de la technologie énergétique dans notre pays.

Ce fut pour moi important d'exprimer le point de vue des Autorités fédérales sur les thèmes que vous avez abordés. A mon avis, notre échange de lettres a atteint ce but.

Je vous prie de recevoir, Monsieur, mes salutations les meilleures.

A. Ogi

*

Pierre Lehmann
c/o Société d'Etude
de l'environnement

Rue du Midi 33
1800 Vevey (Suisse)
Tél. 021/921.05.15

SEDE SA

Monsieur A. Ogi
Chef du Département
fédéral des transports,
des communications
et de l'énergie

3003 BERNE

1800 Vevey, le 26 janvier 1990

Monsieur,

Je vous remercie pour votre lettre du 22 janvier 90. Je constate que nous sommes au moins d'accord sur l'importance primordiale des économies d'énergie et la nécessité de renoncer rapidement à toutes les sources d'énergie non renouvelables (nucléaire, charbon, pétrole). Nous sommes aussi d'accord sur le fait que la Suisse est un pays exportateur d'électricité.

Contrairement à ce que vous semblez croire, le recours au nucléaire ne permet pas de réduire de manière significative la combustion d'agents fossiles. Au contraire, car l'argent investi dans le nucléaire n'est plus disponible pour les économies d'énergie et les énergies renouvelables, lesquelles sont infiniment plus efficaces pour réduire le recours aux combustibles fossiles que le nucléaire ne peut jamais espérer être. De plus, les réserves

d'énergie nucléaire sont plus petites que celles de pétrole ou de charbon.

Votre appréciation du risque de Superphénix se base uniquement sur l'avis des experts fédéraux, lesquels n'ont fait que répercuter les assurances fournies par les Français. Mais, comme vous le savez, d'autres experts tout aussi compétents ne partagent pas l'appréciation de vos experts, et des physiciens nucléaires, dont moi-même, considèrent Superphénix comme un risque inacceptable, potentiellement plus dangereux que Tchernobyl. Je crois que vous ne devriez pas simplement ignorer ce fait. D'ailleurs, les assurances des Français ne sont pas si crédibles qu'on veut nous le faire admettre. L'article ci-joint du «Canard Enchaîné» est assez révélateur à ce sujet.

Une comparaison entre la radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle n'a guère de signification. L'une est diffuse et l'autre concentrée. D'autre part, il ne s'agit pas des mêmes isotopes et la radioactivité artificielle se concentre dans les chaînes alimentaires. De chiffrer le risque d'une radioactivité artificielle par une comparaison avec la radioactivité naturelle est donc parfaitement fallacieux.

Finalement, on ne peut pas affirmer que le bilan de l'industrie nucléaire soit positif du point de vue de la sécurité par rapport aux autres techniques énergétiques. On ne sait pas faire ce bilan, parce que les risques nucléaires ne sont pas limités dans l'espace et dans le temps. Je joins à cette lettre le compte rendu d'une discussion entre Martin Walter (président du PSR/IPPNW suisse) et Jurij Stscherbak, médecin ukrainien qui a vécu la catastrophe de Tchernobyl. J'espère que cela vous donnera une idée de l'ampleur des problèmes qu'une catastrophe nucléaire peut provoquer. Martin Walter a rapporté encore d'autres documents de son séjour en Ukraine, dont certains sont bouleversants. Il est à mon avis essentiel que ceux qui décident en faveur du nucléaire soient conscients de ce qui peut nous arriver si cette option énergétique est poursuivie.

Je persiste dans mon espoir que vous interviendrez auprès du Gouvernement français pour l'arrêt définitif de Superphénix. Il se peut aussi que ce gouvernement prenne la décision sans votre intervention, simplement parce que ce projet n'a plus guère de sens du point de vue économique et énergétique.

En vous remerciant pour votre ouverture au dialogue et pour vos efforts en faveur des économies d'énergie et des énergies

renouvelables, je vous prie de recevoir mes meilleures salutations.

P. Lehmann

Ann.: ment.

Copie pour information à:
M. Martin WALTER, Alpenstr. 10,
CH-2540 Grenchen.

*

Pierre Lehmann
c/o Société d'Etude
de l'environnement

Rue du Midi 33
1800 Vevey (Suisse)
Tél. 021/921.05.15

SEDE SA

Monsieur A. Ogi
Chef du Département
fédéral des transports,
des communications
et de l'énergie

3003 BERNE

1800 Vevey, le 15 février 1990

Concerne: Sécurité nucléaire française
Superphénix

Monsieur,

Suite à notre entrevue du 4 septembre 89 et à nos échanges de correspondance ultérieurs, je vous envoie, ci-joint, copie d'un article du «Canard Enchaîné» du 14.2.90. Cet article met clairement en évidence que les assurances de sécurité que les Français prétendaient pouvoir donner au sujet de leurs centrales nucléaires il y a quelques mois encore étaient largement exagérées. Qui plus est, les Français le reconnaissent.

Il nous semble dès lors que votre attitude conciliante vis-à-vis des autorités françaises en ce qui concerne la remise en fonction de Superphénix n'est plus justifiée. Je rappelle que le surgénérat prototype Superphénix est à 60 km de Genève, laquelle se trouve sous le vent de cette centrale pour les vents principaux. En cas d'accident majeur à Superphénix, il pourra être nécessaire d'évacuer Genève, voire une partie importante de la Suisse. Ce risque est inacceptable, même si sa probabilité d'occurrence est très faible et nous avons, jusqu'ici en vain, essayé de vous faire partager ce point de vue. Aujourd'hui, les Français réalisent enfin que leurs calculs de probabilité ne sont pas crédibles (ce que, incidemment, le Prof. J. Benecke avait souligné dans l'expertise que nous vous avions remise le 4 septembre 89). Il n'est dès lors même plus possible d'arguer que la probabilité d'occurrence d'un accident majeur de Superphénix est faible. Dans ces conditions, vous paraît-il encore possible de ne pas intervenir vigoureusement auprès du Gouvernement français pour qu'il mette fin à une

expérience qui soumet vos concitoyens à une danger dont les conséquences dépassent ce qui est socialement et humainement supportable?

Le 4 septembre 89, le Prof. L. Borel et moi-même vous avons fait remarquer que, en cas d'accident majeur au surgénérateur Superphénix, les responsables de l'Etat français auront à répondre d'un crime international. Ceux qui auront laissé faire sans protester seront considérés comme complices de ce crime et ceci d'autant plus que les assurances de sécurité justifiant ce laisser-faire auront été dénoncées comme infondées.

Je vais essayer de me procurer le dossier qui a permis au «Canard Enchaîné» d'écrire son article et suis à votre disposition pour toute suite que vous jugeriez utile de donner à cette lettre.

Veuillez agréer, Monsieur, mes salutations distinguées.

P. Lehmann

Ann.: ment.

Copie pour informations à:

M. L. Borel, Florimont, CH-1066 Epalinges

*

LE CHEF
du Département fédéral
des transports,
des communications
et de l'énergie

3003 Berne, le 12 mars 1990

Monsieur P. Lehmann
c/o SEDE SA
Rue du Midi 33
1800 Vevey

Monsieur,

Votre lettre du 15 février 1990 m'est bien parvenue. A son sujet je veux faire les remarques suivantes:

Le Rapport Tanguy auquel il est fait allusion est un rapport EDF interne dont la version définitive n'est pas divulguée. Ce rapport, ainsi replacé dans son contexte montre, d'après les Autorités de sûreté françaises qu'«EDF est consciente des efforts qui lui restent à faire et qu'elle a le courage de se remettre en cause».

Les contacts personnels que j'ai eus dans cette affaire avec M. Roger Fauroux, ministre responsable de la sûreté nucléaire, ainsi que les relations établies dans le cadre de la commission franco-suisse de sécurité me permettent de dire ceci: Ce rapport ne signale aucun fait essentiel nouveau ou inconnu à ce jour; il montre qu'EDF s'efforce de maintenir et d'améliorer la qualité de son parc nucléaire, ce qui est, il

me semble, une attitude normale pour un industriel responsable.

Je vous pris, Monsieur, de croire à l'expression de ma parfaite considération.

A. Ogi

*

Pierre Lehmann
c/o Société d'Etude
de l'environnement

Rue du Midi 33
1800 Vevey (Suisse)
Tél. 021/921.05.15

SEDE SA

Monsieur A. Ogi
Chef du Département
fédéral des transports,
des communications
et de l'énergie

3003 BERNE

1800 Vevey, le 16 mars 1990

Concerne: Sûreté nucléaire en France
Superphénix
Votre lettre du 12.3.90

Monsieur,

J'ai bien reçu votre lettre du 12 crt, dans laquelle vous prenez position par rapport à ma lettre du 15 février concernant le Rapport Tanguy.

Je vous signale que j'ai, entre-temps, obtenu une copie de ce rapport. De plus, une autre copie vous a été envoyée par le WWF-Genève. Contrairement à ce que vous affirmez, ce rapport contient au moins un fait nouveau tout à fait essentiel, à savoir que les affirmations optimistes des Français sur la quasi-impossibilité d'accidents majeurs sur les centrales nucléaires françaises ne valaient rien. Le même Pierre Tanguy qui, il y a quelques années encore, affirmait tranquillement qu'un accident grave ne pouvait se produire qu'une fois en un million d'années, déclare aujourd'hui que la probabilité d'un tel accident d'ici la fin du siècle est de quelques pour cent. Cela veut quand même bien dire que les calculs de probabilité qui ont servi à réconforter M. Fauroux et vous-mêmes ne valaient rien. Le «Canard Enchaîné» ne s'y est du reste pas trompé.

Qu'EDF s'efforce de maintenir ou d'améliorer la qualité de son parc nucléaire est la moindre des choses et c'est d'abord dans son propre intérêt. Néanmoins, on doit constater qu'EDF se voit de plus en plus critiquée par le SCSIN pour des manquements à la sécurité. Le danger vient aussi de la routine et peut-être surtout de ce que, pour l'exploitant, les contraintes économiques exercent une pression considérable, ce qui peut l'amener à prendre des libertés avec les règles de sécurité.

Je vous signale que le Prof. Benecke a fait une étude sur la centrale nucléaire de Fessen-

heim, dont je me permets de citer le passage suivant:

«Wir haben den Eindruck, dass Risikobetrachtungen in Frankreich noch viel mehr als in anderen Ländern unter dem Gesichtspunkt durchgeführt werden, das nicht sein kann, was nicht sein darf... Im Elsass geht man bei den zuständigen Behörden von der Vorstellung aus, dass (im Falle eines schweren Unfalles) genügend Zeit bestünde, um administrative und technische Massnahmen zu improvisieren... Wegen des zu befürchtenden frühzeitigen Versagens des Sicherheitsbehälters gehen die Behörden von einer falschen Vorstellung aus.»⁽¹⁾

Votre lettre du 12 crt dénote, à mon avis, un parti pris. Vous semblez avoir pris une fois pour toutes fait et cause pour le nucléaire et refusez d'entrer dans toute réflexion qui pourrait remettre votre foi en question. Votre totale indifférence à l'égard de ce que révèle le Rapport Tanguy ne semble pas pouvoir s'expliquer autrement. Vous comprendrez sûrement qu'après Tchernobyl et au vu du danger incalculable que représente l'empoisonnement radioactif de la biosphère provoqué non seulement par l'industrie des armes atomiques, mais aussi par l'utilisation de l'énergie nucléaire, je ne puisse pas me contenter du haussement d'épaules qu'exprime votre lettre. C'est pourquoi je me permets d'envoyer copie de cette lettre aux conseillers nationaux dont les noms sont indiqués ci-dessous. Et je rappelle, pour finir, que la demande qui vous a été adressée et au nom de laquelle nous avons eu cet échange de correspondance, est de prendre fermement position contre le redémarrage de Superphénix. Il s'agit, après tout, de la vie de vos concitoyens.

Veuillez agréer, Monsieur, mes salutations distinguées.

P. Lehmann

Copie:

M. G. Petitpierre, 7 Pl. Bourg-de-Fourg, CH-1204 Genève.

M. L. Rebeaud, WWF-Suisse, 14 Ch. de Poussy, CH-1214 Vernier.

M. V. Ruffy, CH-1054 Morrens.

(1) J. Benecke et H. Reimann, *Das Gefahren schwerer Unfälle in Druckwasserreaktoren*, Sollner Institut, Sept. 1989.

Conseil national *Réponse écrite*

89.571 Postulat Longet du 23 juin 1989
Surgénérateur. Colloque scientifique contradictoire et public

Le Conseil fédéral est invité à organiser un colloque scientifique public et contradictoire sur la sécurité des surgénérateurs, ou du moins à soutenir l'organisation d'un tel colloque. Celui-ci devrait permettre de faire le point sur les divergences, comme sur les éléments incontestés du dossier.

Cosignataires

Bäumlin Ursula, Béguelin, Brélaz, Brügger, Caccia, Carobbio, Danuser, David, Diener, Fankhauser, Fierz, Grendelmeier, Günter, Hafner Rudolf, Hafner Ursula, Haller, Jeanprêtre, Ledergerber, Leuenberger-Solothurn, Leutenegger-Oberholzer, Meier-Glattefelden, Petitpierre, Pini, Pitteloud, Rebeaud, Rech-

steiner, Ruffy, Salvioni, Schmid, Segond, Seiler Rolf, Stocker, Ulrich, Wiederkehr (34).

Développement

Le 15 mars dernier, par 68 voix contre 65, le Conseil national refusait un postulat du soussigné demandant que l'on intègre des scientifiques critiques dans le processus d'évaluation du dossier de Superphénix.

La controverse demeure cependant ouverte dans le monde scientifique. Conformément aux engagements pris, M. Ogi a d'ailleurs déjà eu des entrevues avec des scientifiques critiques.

Malheureusement, à ce jour, l'opinion publique n'a pas la possibilité de comparer systématiquement les positions sur les divers points en discussion; des communiqués de presse ne peuvent donner que des résumés ou alors des relations limitées à des points précis.

Il est nécessaire que la confrontation des positions, l'exposé des points de divergence comme des points d'accord, ait lieu clairement et au grand jour. A cet égard la tenue d'un colloque scientifique public et contradictoire semble être une voie tout à fait adéquate.

D'ailleurs, les autorités du canton de Genève avaient, en 1982, participé à l'organisation d'un tel colloque, qui avait beaucoup contribué à clarifier les données d'un dossier *a priori* complexe et peu transparent pour le non-spécialiste confronté en permanence à des affirmations qu'il ne peut que très difficilement situer dans leur contexte véritable.

Déclaration du Conseil fédéral

Le Conseil fédéral est prêt à accepter le postulat.

Sur l'éthique nucléaire!

Association pour l'appel de Genève (APAG)

Messieurs les organisateurs
Journées scientifiques
EPFL-LASEN
1015 Lausanne

Genève, ce 26 avril

Messieurs,

Le hasard a fait que c'est en ce jour anniversaire de Tchernobyl que nous apprenons par la voie d'un article paru dans le *Journal des ingénieurs et architectes suisses* (SIA) l'existence de votre projet de tenir une réunion de deux jours sur la problématique «L'énergie nucléaire, le surgénérateur et l'éthique de l'ingénieur» qui se tiendra à Lausanne les 26 et 27 juin prochain sous les auspices de la SIA, de l'Académie suisse des sciences (ASST) et de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

Nous nous permettons de vous rappeler que l'Association pour l'Appel de Genève (APAG) a pris la peine de poser voici quelque douze années les problèmes d'éthique qui vous retiennent à présent et que l'un d'entre nous leur a consacré une allocution prononcée lors du *Dies Academicus* de l'Université de Genève, le 8 juin 1989, en présence des autorités universitaires et politiques de Genève ainsi que des présidents de toutes les Universités de la Région Rhône-Alpes. A toutes fins utiles, nous vous adressons sous ce pli le texte de cette allocution.⁽¹⁾

Nous nous étonnons d'ailleurs de la formulation même de votre problématique et plus précisément de l'expression «l'éthique de l'ingénieur». Il y a là, assurément, une approche radicalement novatrice qui ne peut manquer d'intéresser les membres de l'APAG. En effet, dans notre optique, formée à l'école de Emmanuel Kant (*Critique de la Raison pratique* de 1788), de Max Born (*La responsabilité du savant dans le monde moderne* dont l'édition française date de 1967), mais aussi de Jacques Ellul (*La technique ou l'enjeu du siècle* qui date de 1954 déjà), Arthur-Fridolin Utz (*Ethique sociale*), Kenneth Boulding, Georg Picht, Ivan Illich, Barry Commoner, Nicholas Georgescu-Roegen, pour ne citer que quelques philosophes éthiciens des sciences et des techniques, nous tenions pour acquis qu'il n'y avait qu'une éthique valable pour tous, qu'un seul impératif catégorique caractérisé par son universalité, dont les applications professionnelles pouvaient certes donner lieu à divers codes de déontologie, mais sans créer d'éthique sectorielle par profession ou par autre catégorie sociale. Or, le libellé de vos «Journées scientifiques» annonce la découverte d'une éthique de l'ingénieur et non point seulement d'une déontologie de l'ingénieur. Nous nous réjouissons par avance d'en prendre connaissance et surtout d'en confronter le contenu avec nos

propres réflexions tributaires qu'elles sont encore d'auteurs que vous tenez sans doute pour dépassés.

Quand bien même vous avez souhaité rester entre partisans inconditionnels de l'électronucléaire pour vos «Journées scientifiques», nous vous invitons, quant à nous, à nous adresser avant la mi-juillet 1990 une synthèse écrite de cette importante manifestation, longue d'une douzaine de pages dactylographiées à raison de quelque 30 lignes par page afin que nous l'insérions dans une publication collective que nous songeons à consacrer au thème des *Nouvelles exigences de l'éthique à l'ère nucléaire*. Nous espérons contribuer par ce geste à l'ouverture d'un dialogue entre tenants de différentes options éthiques sur l'électronucléaire, comme nous avons tenu à le faire entre les tenants des différents domaines des savoirs scientifique, philosophique et éthique face aux défis de l'ère nucléaire qui est aussi celle du génie génétique et de l'informatique.

Dans l'espoir que vous voudrez bien donner une suite positive à la présente offre de collaboration, nous vous prions d'agréer, Messieurs, nos salutations distinguées.

Charles ENZ
Professeur de
physique théorique à la
Faculté des sciences de Genève
Co-président de l'APAG

Joel JAKUBEC
Pasteur de
l'Eglise nationale protestante
de Genève
Co-président de l'APAG

Ivo RENS Professeur d'histoire à la Faculté de droit de l'Université de Genève.

(1) Le texte de cette allocution a été reproduit dans la *Gazette de l'APAG*, N° 2-3 de 1989 (NdR).

Recension d'ouvrages

Philippe Bach: *Le dossier Creys-Malville*, Préface de Guy-Olivier Segond, Conseiller d'Etat (membre du Gouvernement de Genève), ancien maire de la Ville de Genève, Introduction de Monique Sené, Dr ès sciences, Présidente du Groupe de Scientifiques pour l'information sur l'énergie nucléaire (GSIEN), Slatkine éditeur, avril 1990, Genève, 200 pages.

Voici enfin un ouvrage de bonne vulgarisation, d'excellente vulgarisation même, sur cette centrale qui semble devoir cumuler tous les risques nucléaires et dont le nom même évoque sinistrement le roman de fin du monde du romancier Robert Merle (*Malvil*)!

Le journaliste (au *Courrier de Genève*) qu'est son rédacteur y présente en dix chapitres les principaux volets du dossier. Enumérons-les:

1. De la probabilité d'un accident
2. Three Mile Island et Tchernobyl, deux types d'accidents
3. Alarme à Malville: barillet et roulette russe?
4. La surgénération, mode d'emploi
5. Le risque radioactif
6. De l'impossibilité du risque zéro: le rapport Benecke
7. La mobilisation contre le surgénérateur
8. La position des autorités suisses
9. Une nébuleuse d'opinions
10. Les perspectives énergétiques

Parmi les quelque cinquante pages d'annexes figure le texte intégral du Rapport de Pierre Tanguy en date du 8 janvier 1990 auquel le professeur Charles Enz a consacré des *Réflexions* que l'on trouvera ailleurs dans ce numéro.

Dans sa Préface, Guy-Olivier Segond déclare notamment: «Superphénix met en œuvre des forces tellement violentes qu'aucun matériau connu ne peut leur résister en cas d'accident. On ne sait d'ailleurs rien de sérieux sur le comportement du réacteur en cas d'emballement. Et la libération — même partielle — de l'inventaire radioactif de Superphénix, entraînerait l'évacuation de toutes les personnes vivant à 100 kilomètres sous le vent et l'interdiction, pour des siècles, de la région contaminée.»

Quant à Monique Sené, Présidente du GSIEN, elle écrit: «La filière à neutrons rapides, rêve des technocrates français, est un mythe. Ils lui ont d'ailleurs donné le nom symbole de l'oiseau qui renaît de ses cendres car, disent-ils, ce seul type de réacteur doit permettre de récupérer plus de matières fissiles qu'il n'en a consommé.

Tous les argumentaires officiels reposent sur cette idée fort simple, mais tout à fait fausse car TOUS les réacteurs, en fait, créent du plutonium à partir de l'uranium 238. C'est d'ailleurs grâce à ce fait qu'on a pu envisager la construction de Superphénix, alimenté par les réacteurs à eau légère.

Cette idée n'est que la partie émergée d'une réalité beaucoup moins idéale. *S'il n'y avait pas eu un programme militaire de mise au point de bombes, nul n'aurait songé au plutonium...*» (souligné par nous)

Cet ouvrage qui, soit dit en passant, rend largement justice à l'APAG et à la *Gazette de l'APAG*, est très remarquablement illustré, de nombreux graphiques, schémas, cartes géographiques comparant notamment les régions de Tchernobyl et de Creys-Malville, servant à étayer une argumentation tout à la fois robuste et limpide.

Une bibliographie de cinq pages, succincte mais bien conçue, à la fin de l'ouvrage, permet au lecteur francophone désireux d'approfondir la question ou d'élargir son information sur la problématique du nucléaire.

Genève, avril 1990

Dierck Orinckx.

Coordonnées de quelques périodiques francophones dispensant une information critique sur l'énergie

Wise-Bulletin international

Publication du Service mondial d'information sur l'énergie
4, rue Daunois
F-75013 Paris

La Gazette Nucléaire

Organe bimestriel du GSIEN
2, rue François-Villon,
F-91400 Orsay

Silence

Mensuel
Ecologie — Alternative — Non-violence
4, rue Bodin,
F-69001 Lyon

Anti-Atom

Publication de la Conférence suisse pour l'arrêt des Centrales nucléaires
C.P. 4050
CH-3001 Berne

Le Cri du Rad

Organe trimestriel
du CRIIRAD
8, rue Louise-Gémard
F-26200 Montélimar

Contratom

Organe trimestriel
de l'Association genevoise
CONTRATOM
C.P. 107
CH-1227 Carouge

Les membres de l'APAG ainsi que les abonnés à la *Gazette de l'APAG* ayant acquitté leur abonnement pour 1990 avant le 1^{er} mai 1990, recevront **STRATÉGIES ÉNERGÉTIQUES, BIOSPHÈRE & SOCIÉTÉ**, *Forum interdisciplinaire indépendant* (& *Gazette de l'APAG*) pour 1990 sans autre.

Les personnes physiques ou morales désireuses de s'abonner à **STRATÉGIES ÉNERGÉTIQUES, BIOSPHÈRE & SOCIÉTÉ** pour 1990 sont priées d'acquitter SFR 30.—
Prix de vente au numéro: SFR 18.—

auprès des **Editions Médecine et Hygiène**,

CCP 12-8677-8, ou au compte C2 602 803 que les Editions Médecine et Hygiène possèdent auprès de la Société de Banques Suisses (SBS) à Genève, en précisant «Abonnement à **STRATÉGIES ÉNERGÉTIQUES, BIOSPHÈRE & SOCIÉTÉ**».

Pour la France, le prix de l'abonnement s'élève à FF 120.— et peut être réglé au moyen d'un chèque bancaire ou postal établi à l'ordre des Editions Médecine et Hygiène et envoyé à leur adresse de Genève ci-dessous indiquée, en mentionnant toutefois le nom de notre revue.

Pour toute question relative à un nouvel abonnement (postérieur au 1^{er} mai 1990) on est prié de s'adresser exclusivement au:

Service des abonnements
**STRATÉGIES ÉNERGÉTIQUES,
BIOSPHÈRE & SOCIÉTÉ**
c/o Editions Médecine et Hygiène,
78, avenue de la Roseaie,
Case postale 456, CH-1211 Genève 4
Téléphone (022) 48 55 66

Membres de l'APAG

En principe, l'appartenance à l'APAG couvre l'abonnement à **STRATÉGIES ÉNERGÉTIQUES, BIOSPHÈRE & SOCIÉTÉS** qui prend la suite de la *Gazette de l'APAG*.

Pour tout renseignement complémentaire, on peut s'adresser au Bureau de l'APAG ou à l'un de ses membres ou encore à l'APAG, C.P. 506, CH-1212 Grand-Lancy 1, Genève, Suisse.

