

FAUT-IL CRAINDRE L'EFFET DE SERRE ? *

Pierre NASLIN (39)

EN DÉCEMBRE dernier, l'IPCC, dont le nom anglais (International Panel on Climate Change) contient déjà la conclusion de ses travaux, a annoncé pour le prochain siècle un réchauffement moyen de la Terre de 2°C et une montée des eaux océaniques de $0,50\text{ m}$. Que faut-il en penser ?

L'effet de serre (figure 1)

La Terre reçoit en moyenne 340 W/m^2 et réfléchit 100 W/m^2 . S'il n'y avait pas d'atmosphère, 240 W/m^2 seraient donc absorbés et réémis en infrarouge. Or, un corps noir émettant 240 W/m^2 a une température de -18°C . En réalité, la température moyenne à la surface de la Terre est de $+15^{\circ}\text{C}$. Il faut en conclure que 150 W/m^2 sont piégés dans l'atmosphère composée de nuages, de vapeur d'eau, d'aérosols et de gaz en traces. L'effet de serre naturel, qui produit un réchauffement de 33°C , est donc bénéfique. Les émissions dues aux activités humaines sont-elles susceptibles de provoquer un emballement de l'effet de serre ? Autrement dit, l'effet de serre anthropique existe-t-il ?

Le modèle de la figure 1 est beaucoup trop simple. Le climat dépend de très nombreux facteurs, parmi lesquels on peut citer :

- facteurs astronomiques de l'inso-

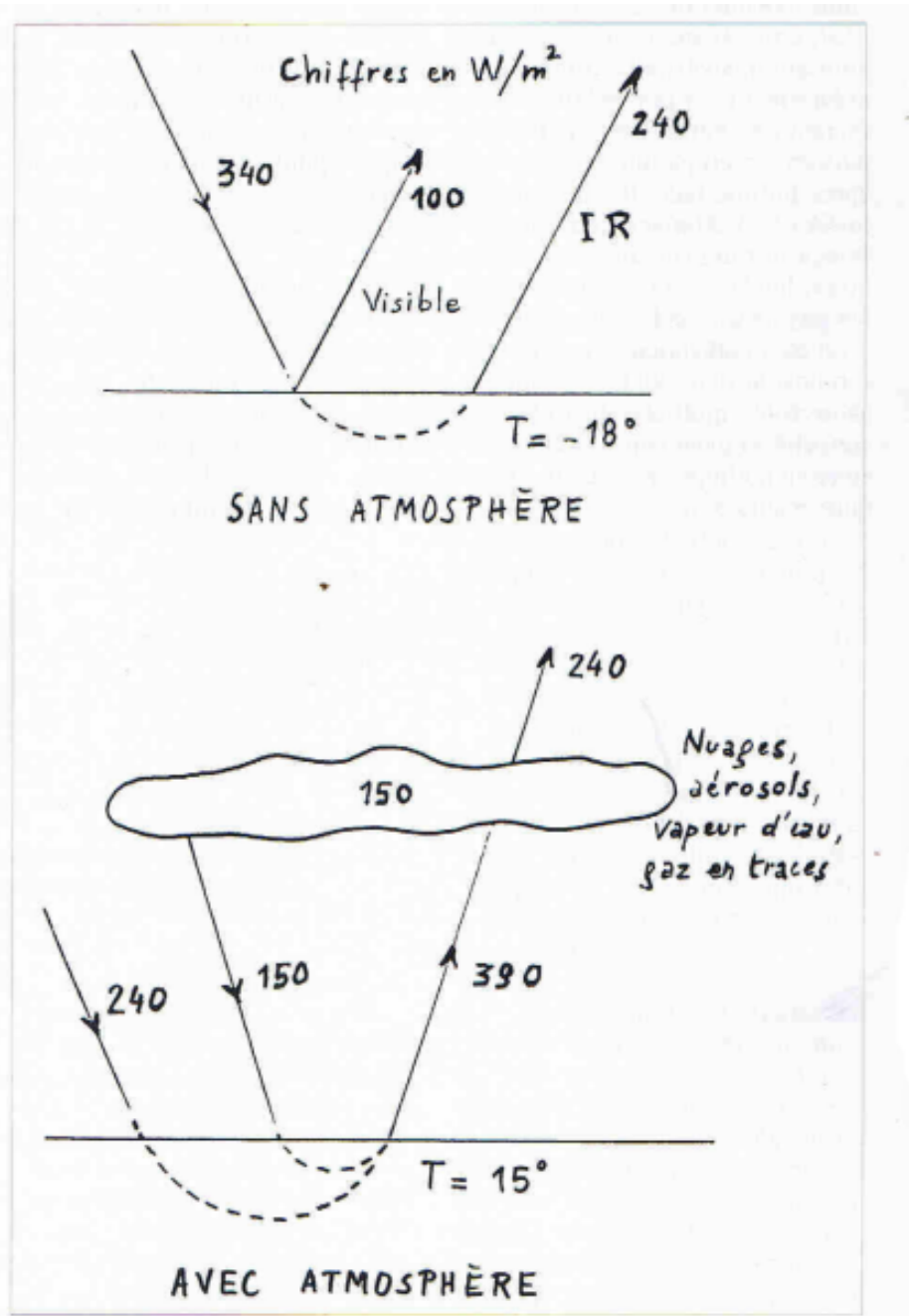


FIGURE 1 - Bilan thermique global de la Terre, sans et avec atmosphère.

- effets des différents gaz à effet de serre,
- interactions entre ces gaz,
- dissolution du gaz carbonique dans l’océan,
- cycle du carbone,
- courants marins et effets de la salinité et du vent,
- évaporation des mers et effets de la vapeur d’eau,
- formation des nuages et leurs effets,
- courants atmosphériques,
- effets de la biosphère végétale et animale, terrestre et marine,
- interactions entre tous ces facteurs.

On peut se demander si l’extrême complexité de ce système permet d’effectuer des prévisions.

Les mesures

Les mesures effectuées depuis cent cinquante ans semblent montrer un réchauffement de 0,5 °C. Est-ce une tendance à long terme ou une fluctuation ? Au XII^e siècle, il y avait de la vigne en Angleterre, il y faisait plus chaud. Au XV^e siècle, Dürer a peint la transhumance dans des cols aujourd’hui enneigés. Inversement,

le XVIII^e et le XIX^e siècle ont connu le “petit âge glaciaire”. Il y a huit mille ans, le Sahara était vert ; il y pleuvait 50 fois plus qu’aujourd’hui. On a trouvé dans les grottes du Tassili des peintures représentant des éléphants, des pélicans, des poissons, des crocodiles, des hippopotames. La régression actuelle des glaciers alpins fait suite à une avancée pendant le petit âge glaciaire, qui suivait elle-même le réchauffement du XV^e siècle. Et les Alpes sont peu de choses par rapport à l’Alaska, au Groenland, à l’Himalaya ou à l’Antarctique, où les glaciers se portent bien.

Pour déceler un écart de 0,5° en un siècle, il faut atteindre une précision de 0,1°. Or, les mesures terrestres et marines effectuées depuis près de deux siècles ne présentent pas un degré de fiabilité suffisant. De plus, les mesures terrestres souffrent du phénomène des îlots de chaleur urbains. Les mesures radiométriques effectuées depuis une trentaine d’années par satellites ne présentent pas une meilleure précision, en raison des corrections d’émissivité du sol et de transmission atmosphérique. Les mouvements relatifs des mers par rapport aux terres ne permettent de tirer aucune conclusion quant au

niveau des mers. Il faut donc s’en remettre aux modèles climatiques, qui ne présentent pas non plus la fiabilité désirée. De plus, le réchauffement supposé de 0,5° en un siècle est utilisé pour ajuster les modèles de prévision. S’il est illusoire, ceux-ci sont biaisés.

Les gaz à effet de serre

Le tableau 1 donne les caractéristiques des principaux gaz à effet de serre, qui sont très différentes. On prévoit que la concentration du CO₂ doublera au cours du prochain siècle. Il ne faut pas oublier que le principal gaz à effet de serre est la vapeur d’eau, absente du tableau. Enfin, l’atmosphère contient du SO₂ et des poussières industrielles et volcaniques.

Les paléoclimats

Les carottes glaciaires prélevées dans l’Antarctique et au Groenland contiennent 150 000 ans d’archives climatiques. La température est

Gaz	Concentration	Augmentation au xx ^e siècle	Temps de résidence	Efficacité	Origine
CO ₂	350 ppm	30 %	50-200 ans	1	Combustibles fossiles, déforestation
CH ₄	1,70 ppm	100 %	10 ans	30	Fermentation anaérobie (zones côtières, marécages, rizières, animaux domestiques)
N ₂ O	300 ppb	25 %	150 ans	150	Dégradation des engrais
CFC	0,35 ppb	25 %	100 ans	16 000	Industries du froid et des plastiques. Propulseurs d’aérosols
O ₃	50 ppb	–	–	2 000	Action des UV sur O ₂

TABLEAU 1 – Principaux gaz à effet de serre, à l’exception de la vapeur d’eau, qui est le principal gaz à effet de serre : les concentrations sont exprimées en partie par million (ppm) et en partie par milliard (ppb).

déduite de la proportion des isotopes 16 et 18 de O_2 , tandis que l'analyse des bulles donne la concentration de CO_2 et de CH_4 . La figure 2 se réfère à la température et à la concentration de CO_2 . Les relations entre ces deux courbes donnent à penser que celle-ci résulte de celle-là. Le CO_2 est d'autant plus soluble dans l'eau de mer que la température est plus basse, d'où résulte un effet de rétroaction positive de l'effet sur la cause : tout refroidissement ou réchauffement initial se trouve donc amplifié. Les variations de température sont dues aux fluctuations des paramètres de l'orbite de la Terre : obliquité, excentricité et précession des équinoxes. On y retrouve les mêmes périodes d'environ 100 000, 40 000 et 20 000 ans.

Ce processus rappelle les *oscillations de relaxation* d'un système non linéaire à réaction positive soumis au forçage des variations de l'insolation. Le climat change brusquement quand certains seuils sont franchis. Il y a 10 000 ans, ce régime instable a été remplacé par un *mode autorégulé* dominé par des rétroactions négatives. C'est aussi à cette époque que remontent l'agriculture et la civilisation.

Le cycle du carbone

La figure 3 montre la répartition du carbone dans l'atmosphère, dans l'océan, sur les continents et dans

les sédiments. Le carbone de l'océan se trouve surtout sous forme de carbonates, qui proviennent en grande partie des coquilles des organismes marins. Entre l'atmosphère et l'océan d'une part, l'atmosphère et la biosphère continentale d'autre part se produisent des échanges considérables de carbone, de l'ordre de 100 Gt/an dans les deux sens, sous l'effet des fluctuations saisonnières et géographiques. Les connaissances actuelles ne permettent pas d'en faire le bilan. Les *fluctuations saisonnières* résultent de la variation de la concentration du CO_2 avec la température, corrigée de l'effet des vents et l'activité biologique. Le flux net manifeste des écarts entre dégagement et pompage de CO_2 , qui changent de signe avec les saisons. On ne sait pas en faire le bilan. Mais il faut noter le rôle biologique de la couche superficielle de l'océan, en particulier des mers peu profondes et des zones côtières, qu'il faut absolument éviter de polluer.

Les courants marins (figure 4)

Quand l'eau salée s'évapore, elle devient plus salée et donc plus lourde, mais, tant qu'elle est chaude, elle reste en surface. Dans l'Atlantique, elle remonte vers le nord en cédant sa chaleur à l'atmosphère. Parvenue au Groenland, elle est froide et plonge vers le fond, circule vers le sud et remonte le long des côtes de l'océan Indien et du Pacifique. Puis elle remonte en surface et retourne vers l'ouest. Ce cycle dure de 500 à 1 000 ans. Les eaux superficielles réchauffent les eaux profondes, ce qui revient à soustraire à l'atmosphère une partie de la chaleur produite par effet de serre.

Ce régime général des courants marins peut se trouver perturbé. Ainsi, le réchauffement mettant fin à la dernière glaciation, commencé il y a 18 000 ans, a été interrompu pendant mille ans il y a 12 000 ans

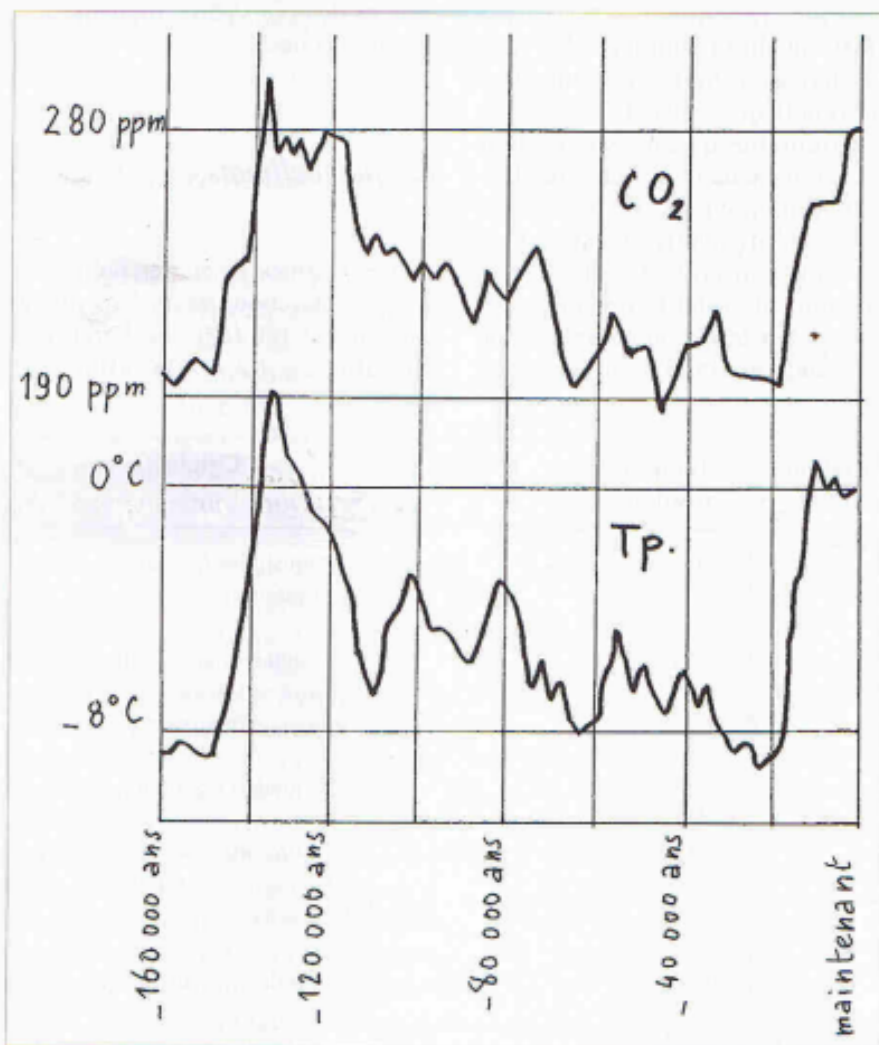


FIGURE 2 - Variations de la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère et de la température depuis 160 000 ans.

par un afflux d'eau douce dans l'Atlantique, provenant peut-être de la décharge accidentelle d'un grand lac. La plongée des eaux chaudes est descendue plus au sud, de sorte que l'air arctique soufflant vers l'est a apporté du froid à l'Europe (refroidissement du Dryas récent).

De nos jours, le courant froid de Humboldt, qui longe la côte du Pérou, est remplacé deux ou trois fois par décennie, par un petit courant chaud appelé *courant del Niño* (de l'Enfant Jésus). Ce phénomène local est lié à "l'oscillation australe", qui affecte tout le Pacifique équatorial et se traduit par une inversion des vents, des courants, des températures et des pluies. Les années normales, il pleut en Indonésie et en Australie du Nord; les années El Niño, on observe des pluies, et même des typhons, à

l'est du Pacifique et sur les côtes et les déserts d'Amérique du Sud. Cette oscillation entraîne une différence de plusieurs décimètres entre les niveaux des eaux des deux côtés du Pacifique.

Le cycle de l'eau

L'atmosphère contient 1 500 Gt de vapeur d'eau. L'évaporation des mers croît avec la température et entraîne un effet de serre accru : réaction positive. La vapeur d'eau donne des nuages. À haute altitude se forment des cirrus blancs très réfléchissants (effet refroidissant), qui produisent aussi un effet de serre réchauffant. À basse altitude, on observe des cumulus sombres

qui produisent un effet de serre réchauffant, mais arrêtent la lumière solaire (effet refroidissant). On ne connaît pas le bilan de ces effets contraires. Notons qu'un accroissement de réflectivité de 2 % suffirait à compenser le doublement de la concentration du CO₂. Il faut encore tenir compte des effets des poussières industrielles et volcaniques, ainsi que des aérosols, qui jouent le rôle de germes pour la formation des nuages. Les effets combinés des nuages et des aérosols soufrés et carbonés pourraient même produire un refroidissement supérieur au réchauffement dû aux gaz à effet de serre (voir le numéro de *Pour la Science* de juin 1996 sur l'atmosphère).

La végétation

La végétation constitue un important réservoir de carbone : 500 Gt dans la biomasse, 1 500 dans le sol, contre 700 dans l'atmosphère. Outre ses effets sur l'humidité, la rétention des eaux, le climat plus tempéré etc., la végétation absorbe du CO₂ par *photosynthèse* pour en extraire le carbone dont elle a besoin, ce qui réduit la concentration du CO₂ et donc l'effet de serre. Mais c'est la végétation en croissance, et notamment la *forêt en croissance*, qui absorbe le CO₂. Le bilan en CO₂ d'une forêt *mature*, comme d'ailleurs son bilan en oxygène, est nul. Il faut donc exploiter les forêts; c'est ce qu'il faut entendre par le "développement durable" prôné à Rio. Il est faux de prétendre que les forêts tropicales sont le "poumon de la planète". L'oxygène de l'atmosphère est produit principalement par les microalgues, et accessoirement par les plantes en croissance et d'autres effets. Il faudrait remplacer partout la destruction des forêts, surtout par brûlage, par la *silviculture*. Il faudrait définir dans les forêts tropicales deux parts : une forêt cultivée et une forêt "sauvage" servant de réserve biologique.

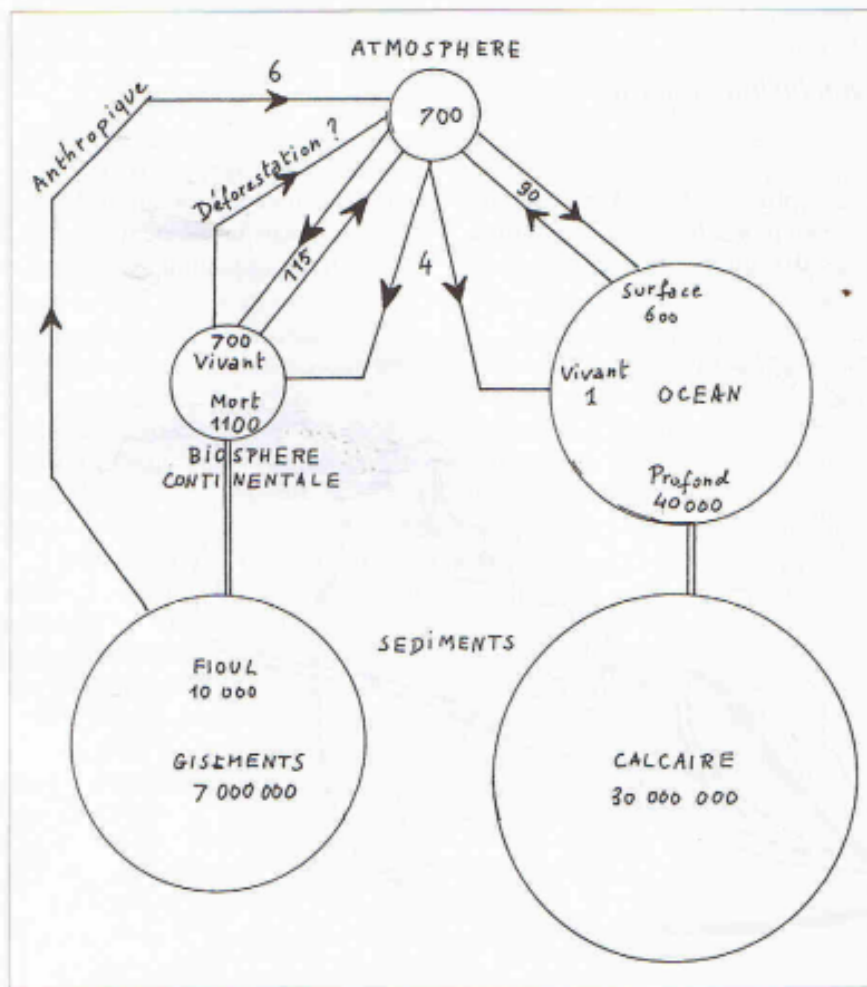


FIGURE 3 - Bilan du carbone : les réserves sont exprimées en Gt (gigatonnes ou milliards de tonnes), les flux en Gt par an.

Conclusion pour le gaz carbonique

La situation concernant le CO₂ est caractérisée par l'existence d'un *réseau inextricable de rétroactions positives et négatives*, qui influent sur tous les facteurs du climat. Aucune prévision n'est possible à l'heure actuelle.

L'ozone

L'ozone est caractérisé par sa grande rareté : trois molécules d'ozone pour dix millions de molécules d'air. L'ozone stratosphérique est produit par l'oxydation de l'oxygène par les rayons ultraviolets. La couche à ozone joue le rôle d'un écran protecteur en arrêtant une partie du rayonnement UV qui risque de produire des cancers de la peau et des cataractes. Or, pendant le printemps austral, on observe, principalement au-dessus de l'Antarctique, une diminution de 60 % de la concentration d'O₃.

Cette destruction d'O₃ serait due aux CFC (chlorofluorocarbones) utilisés dans la réfrigération, la climatisation, les solvants, la propulsion d'aérosols, etc. Leur usage a été interdit par le protocole de Montréal (1988) complété par l'amendement de Copenhague.

On peut se demander pourquoi le "trou" d'ozone se trouve sur l'Antarctique, alors que les CFC sont émis principalement dans l'hémisphère Nord. Les CFC se mélangent à l'atmosphère, montent dans la stratosphère et sont entraînés vers les pôles. Le pôle Sud est un continent entouré d'eau. La température peut descendre jusqu'à -80°C. Il se forme des nuages qui accélèrent la libération du chlore et la destruction de O₃. Au contraire, il n'y a pas de terre au pôle Nord, la température est moins basse et il ne se forme pas de nuages.

Conclusion générale

La plupart des textes récents reviennent sur les prévisions effectuées il y a quelques années, sauf

le rapport de l'IPCC, qui se devait de justifier son nom anglais. Pour l'avenir, tous les scénarios sont possibles :

- nouvelle glaciation dans 60 000 ans sous l'effet des facteurs astronomiques ;
- si l'effet de serre anthropique existe, retour à la situation d'il y a 8 000 ans, le Sahara reverdira, quelques côtes seront inondées ;
- un début de réchauffement amènera un refroidissement, comme il y a 12 000 ans ;
- maintien de l'homéostasie actuelle.

La Terre se trouve actuellement dans un bassin d'attraction dont la frontière nous est inconnue. Le siècle n'est pas l'unité convenable pour étudier ces phénomènes d'ampleur planétaire.

Recommandations

Si l'on doit ménager les combustibles fossiles, c'est d'abord pour les conserver comme matières premières pour la pétrochimie et la carbochimie, et comme carburants.

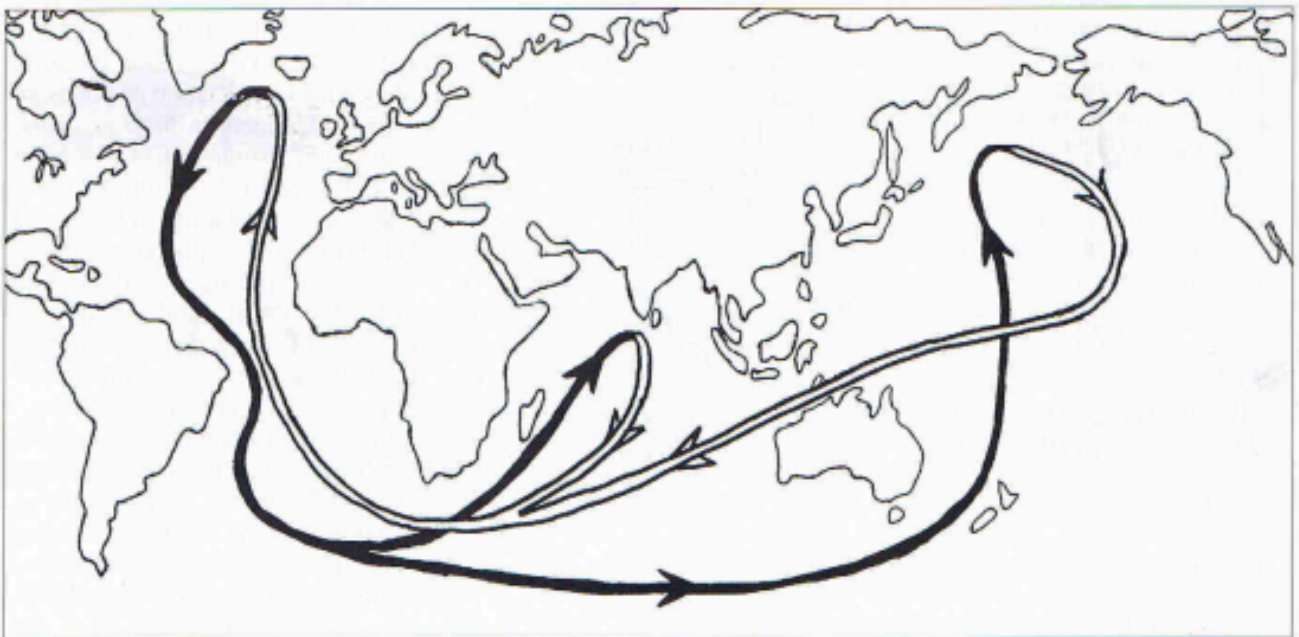


FIGURE 4 - Cycle très schématisé des courants océaniques : les traits blancs représentent des courants de surface chauds, les traits noirs des courants froids en profondeur.

On peut donc faire les recommandations suivantes :

- améliorer la gestion de l'énergie sous toutes ses formes,
- développer l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, en évitant les risques de prolifération des armes nucléaires,
- poursuivre l'étude du surrégénérateur et de la fusion,
- développer les énergies renouvelables (solaire, éolienne, biomasse),
- éviter la pollution des mers, spécialement des régions côtières et des mers peu profondes,
- développer la sylviculture à l'échelle mondiale,
- remplacer le brûlage par la sylviculture.

Pourquoi les discours catastrophistes ?

On annonce aujourd'hui une ère tropicale comme on annonçait, il y a trente ans, une ère glaciaire. Les chercheurs cherchent de l'argent, les journalistes un bon sujet et les politiciens une noble cause. Le mouvement est repris par les écologistes et amplifié par les médias. Les contradicteurs sont montrés du doigt et leur carrière est compromise. Les gens finissent par se haïr dans un combat entre forces du bien contre forces du mal.

Le public a soif de catastrophes et de paranormal. Dans un débat télévisé, il faut trente secondes pour proférer une ânerie, alors qu'il faudrait dix minutes à un scientifique pour la réfuter. On assiste ainsi à une véritable *intoxication* du public et de ses élus.

Point de vue

épistémologique

L'étude du climat montre bien les limites de la science, qui ne sait pas étudier les *systèmes complexes* dans lesquels s'enchevêtrent de nombreuses interactions. La science étudie des situations simples créées par l'homme qui en déduit des lois et en fait des objets technologiques, avec le succès que l'on sait. Elle étudie les interactions entre quelques paramètres, mais ne sait pas les intégrer dans un système complexe comme le système climatique. Les milliards du CERN et du projet Génome humain ne serviront à rien pour résoudre ce problème. La climatologie fait intervenir la physique, la chimie et la biologie. Il faudrait clarifier les bilans du carbone, de l'eau et du vivant, c'est-à-dire évaluer de petites différences entre des grandeurs parfois énormes.

Le système climatique met en jeu toutes les forces de la nature dans un ballet diabolique où chaque danseur interagit avec tous les autres. Pour appréhender une telle situation, il ne sert pas à grand-chose de savoir qu'il existe quatre interactions fondamentales et que l'ADN régit la réplication des cellules vivantes. Muni de ces armes dérisoires devant l'ampleur planétaire des phénomènes, le *climatologue n'est pas un scientifique heureux*.

* Résumé de la conférence prononcée le 18 mars 1996 à l'École nationale supérieure de Chimie de Paris, sous l'égide de la SEE, du CNISF et de l'IEEE.

Le texte complet a été publié dans *La Technique Moderne*, n° 3/5, 1996.

Bibliographie

- Rapport n° 31, Académie des Sciences, novembre 1994.
- Rapport n° 25, Académie des Sciences, octobre 1990.
- Numéro spécial sur l'effet de serre, *La Recherche*, mai 1992.
- R. KANDEL, *Le devenir des climats*, Hachette, 1995.
- G. BELTRANDO et L. CHÉMERY, *Dictionnaire du climat*, Larousse, 1995.
- B. VOITURIEZ, "L'océan et l'évolution du climat", *Revue du Palais de la Découverte*, n° 210.
- J.-F. MINSTER, "Le cycle océanique du carbone", *Revue du Palais de la Découverte*, n° 200.
- J.-L. MARTIN, *L'effet de serre. Mythe ou réalité?*, Chronique de la SEDEIS, 15 juin 1992.
- W. BROEKNER, "L'origine des glaciations", *Pour la Science*, janvier 1996.
- R. LEYGONIE, "L'effet de serre et le réchauffement du climat", T.S.M., *L'eau*, avril 1993.
- Report n° 37, "World meteorological organization", Global ozone research and monitoring project.
- G. MÉGIE, "Couche d'ozone, de l'équilibre naturel aux perturbations anthropiques", *Revue du Palais de la Découverte*, n° 233, décembre 1995.
- L. HUGUET, "Dans les forêts tropicales, la guerre entre les clerics et les gestionnaires n'aura pas lieu", *Revue forestière française*, 6-1994.
- P. ROQUEPLO, "Effet de serre : une véritable expertise est-elle possible?" *La Recherche*, novembre 1993.
- G. LAMBERT et P. MONFRAY, "L'effet de serre : faut-il remiser nos craintes?" *La Recherche*, octobre 1994.
- C. ALLÈGRE, "Gérer notre planète", Cahiers du mouvement universel de la responsabilité scientifique, n° 29, 1992/1993.