

RÉFLEXIONS SUR LE "GLOBAL CHANGE"

JEAN DEMANGEOT⁽¹⁾

Il existe actuellement un grand mouvement d'intérêt pour l'environnement, et en particulier pour l'influence des hommes sur le cours normal de la nature. La manifestation la plus importante de cet intérêt a trait au "Global Change", c'est-à-dire au réchauffement possible de la planète par l'activité des sociétés humaines, industrielles ou non. L'enjeu économique autant que scientifique est de taille, et il donne lieu à une orchestration médiatique d'une rare perfection.

La thèse officielle, celle que répandent les médias, peut se résumer ainsi:

"Les sociétés industrielles déclenchent deux processus dont les effets concomitants désorganisent l'équilibre thermique de la planète. D'une part, en brûlant forêts et combustibles fossiles, elles rejettent un excédent de gaz carbonique dans l'air, ce qui renforce l'effet de serre naturel, donc réchauffe le globe. D'où, par voie de conséquence, fonte des glaciers et montée du niveau de la mer. D'autre part le monde industriel émet dans l'atmosphère des gaz nouveaux, les chlorofluorocarbones, ou CFC, qui détruisent l'ozone de la stratosphère (d'où le trou antarctique de l'ozone) et permettent ainsi le passage d'un supplément de rayons UV, dont on sait qu'ils sont nocifs pour la santé".

Ce scénario simple et logique de la dénaturation de la planète est dans le droit fil des préoccupations de l'écogéographie. Il faut donc l'examiner, mais objectivement. c'est-à-dire *par induction, en partant*

(1) Professor de Geografia, 6, rue Chézy, Neuilly-sur-Seine. 92200 Seine, France.

des faits concrets, comme nous l'enseigne Claude Bernard⁽²⁾, et non par un enchaînement de raisonnements déductifs. Oui ou non le niveau des mers est-il en train de monter? Oui ou non le globe est-il en train de se réchauffer?

LES FAITS

1 – LE NIVEAU DE LA MER

On sait que le niveau moyen des océans sert de référence à la détermination des altitudes et des profondeurs du relief terrestre: il est donc important de bien définir ce niveau zéro. Il l'a été, en France, par exemple, comme étant le niveau moyen de la mer Méditerranée, à Marseille, de 1885 à 1892. Mais il est prouvé qu'il n'est pas vraiment fixe. Pour nous en tenir au passé récent, nous constatons qu'il était à -60m en 10 000 BP (fig. 1), qu'il est monté à -10m en 7500 BP

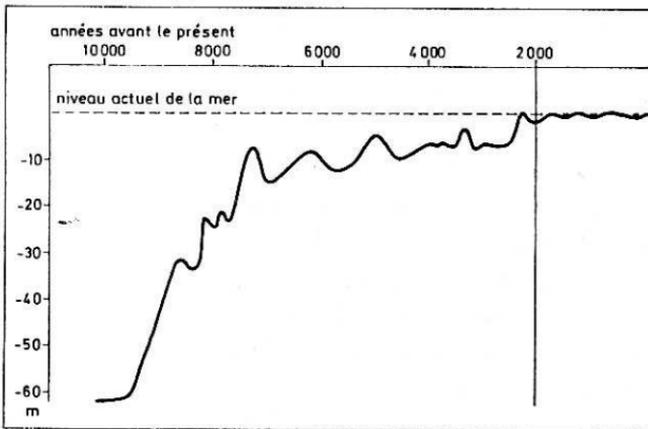


Figure 1 – Variations du niveau de la mer, sur le littoral atlantique de la France (en années BP). La transgression flandrienne, engendrée par la fonte des glaciers würmiens, est d'abord rapide, puis elle ralentit vers 7500 BP. On ne sait quelle est la part des mouvements du sol dans cette transgression. Source: M. Ters, in PASKOFF.

(2) "Toute la connaissance humaine se borne à remonter des effets observés à leur cause", *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, 1865.

(transgression flandrienne), enfin qu'il a atteint son niveau actuel vers 2350 BP. Depuis, la mer a subi cinq petites oscillations de ± 1 m, qui ont submergé des monuments néolithiques ou gallo-romains côtiers. *Actuellement le niveau zéro remonte d'environ 15 cm par siècle.* Ces variations dépendent-elles du contenu des océans ou du contenant océanique?

Le contenu? Le volume global de l'eau sur la planète étant une grandeur finie, 1378 Mkm³ environ, toute variation du volume des eaux continentales (et atmosphériques) implique une variation inverse des eaux océaniques: soit en moins, par stockage de l'eau dans la cryosphère (neiges + glaces), soit en plus par fusion, précisément, des grands glaciers. D'où les mouvements de bascule glacio-eustatiques quaternaires: au cours du Würmien le niveau des océans était vers -120 m. Il faudrait aussi tenir compte de la dilatation des eaux océaniques en période chaude (2 à 6 cm d'élévation?) et de leur contraction en période froide. On devrait invoquer aussi le rôle de la pression atmosphérique, tout anticyclone tendant à déprimer la surface océanique (jusqu'à 10 cm), tout cyclone tendant à relever cette surface. Ou bien la pulsion des eaux de surface par les alizés: l'eau s'élève alors de quelques décimètres sur le rivage occidental des océans, pour refluer vers l'est ultérieurement: mouvement observé aux îles Galapagos, -10 cm fin 1981, + 45 cm fin 1982. Certes, ces mouvements d'origine météorologique n'ont que des effets régionaux et provisoires: mais ils compliquent l'étude du niveau zéro.

Le contenant? On devrait accorder plus d'attention aux variations des fonds océaniques, pourtant évidentes. Premier fait, avéré, l'affaissement des continents par surcharge: soit par les grands inlandsis quaternaires (Canada, Scandinavie, etc.), soit par accumulation de dépôts (golfe du Mexique); dans ce cas il y a transgression marine et le niveau de la mer paraît monter. Un gondolement tectonique en creux produit le même effet. Seconde situation: le relèvement des continents après fusion des glaces ou après forte érosion, ce dernier cas étant encore mal connu. Ou après gondolement anticlinal. Le niveau de la mer paraît alors s'abaisser puisqu'il y a régression. On a pu démontrer (PIRAZZOLI) que les rivages holocènes sont actuellement surélevés dans les régions déglacées du globe et affaissés presque partout ailleurs par compensation isostatique, ce qui diminue grandement la crédibilité des calculs théoriques de contenu. Et puis, il y a les

complications: par exemple les marées terrestres, à ne pas confondre avec les marées océaniques. Elles sont décelées par les satellites et produisent des effets de bascule d'une amplitude inférieure à 1 m mais relativement rapides. *Le troisième paramètre est le relèvement ou l'abaissement du fond de la mer*: il est réel puisque des massifs volcaniques entiers surgissent (il y a émission de 100 km³ de laves par an rien que dans le Pacifique sud), au point même de soulever la surface océanique de plusieurs mètres, localement, par modification de la gravimétrie; puisque les redoutables tsunamis dénoncent des effondrements sous-marins... Enfin, non moins avéré, est l'élargissement ou le rétrécissement du vase océanique par le déplacement des plaques continentales: en 10 000 ans l'océan Atlantique s'est élargi de 400 m environ. Mais, dans ce cas, on peut supposer qu'il y a compensation d'un océan à l'autre.

En conclusion, *il apparaît risqué de ne chercher que des causes climatiques aux variations du niveau de la mer*: le ferait-on dans une piscine en caoutchouc? Actuellement le niveau des océans semble remonter légèrement: on prévoit (cf. PASKOFF) qu'il sera à + 24 cm au milieu du XXI^{ème} siècle... ou à + 117 cm, selon que l'on adopte le scénario optimiste ou le scénario pessimiste. Mais, en vérité, on ne sait pas exactement de combien il montera, s'il monte, et on ne sait pas pourquoi. Ce n'est donc pas une preuve du renforcement de l'effet de serre.

2 – LES GLACIERS

"La température augmente puisque les glaciers reculent": cette affirmation, courante, est discutable. Il est en effet très difficile d'interpréter les mouvements d'avancée ou de recul des fronts glaciaires car ils n'obéissent pas aux seules températures. Ils dépendent du déséquilibre entre l'alimentation et l'ablation de la glace. Or *l'alimentation dépend, elle, des chutes de neige*, elles-mêmes fonction des précipitations (donc du potentiel précipitable, donc de la température) et de la température qui les transforme, ou non, en neige: l'exposition aux vents humides intervient donc également. L'ablation, elle, est le fait du rayonnement direct, plus ou moins contrecarré par l'albédo de la glace et des rochers, et de la température de l'air et du cadre rocheux, donc également de l'exposition.

L'ensemble des glaces, ou cryosphère, mesure environ 33Mkm^3 , qui valent à peu près 30Mkm^3 d'eau; et l'on a calculé que la fonte d' 1Mkm^3 de glace entraînerait un relèvement du niveau des mers de 240 à 245 cm. On comprend la vigilance de certains observateurs. Il faut naturellement distinguer entre les inlandsis, les glaces de mer et les glaciers de montagne, sans oublier la glace de sol.

Les inlandsis mesurent environ 14Mkm^2 , shelf compris, en Antarctique, $1,8\text{M km}^2$ au Groenland, et 33Mkm^3 au total (tableau 1), selon LORIUS. La calotte antarctique perd de sa substance essentiellement par lâchers d'icebergs (le vélage) parfois gigantesques, mais très peu par fusion à cause de la profondeur du froid. En revanche, le Groenland émet dix fois moins d'icebergs mais fond vingt fois plus vite. On admet, actuellement, que l'ablation des inlandsis va croissant sur les marges, mais qu'elle est, peut-être, compensée par un épaissement du centre des calottes, consécutif à une augmentation des précipitations neigeuses, elle-même consécutive à un léger réchauffement climatique...

Les glaces marines, saisonnières ou permanentes, représentent une plus grande étendue (28Mkm^2) mais un plus petit volume ($0,05\text{Mkm}^3$) naturellement. On peut les supposer très sensibles à un réchauffement de l'atmosphère. En réalité l'interprétation de leur extension est très délicate car ces glaces dépendent non seulement de la température de l'air mais aussi de la température de l'eau de mer et des poussées du vent et des courants marins (Kergomard). La surface des glaces de mer aurait diminué de 7% en une dizaine d'années, ce qui indiquerait un léger réchauffement éventuel. Fait qui pourrait induire une rétroaction positive puisque l'albédo des glaces flottantes est très supérieur à celui des eaux libres (souvenons-nous qu'un faible albédo améliore le bilan radiatif).

Les glaciers de montagne, eux, sont extrêmement sensibles aux conditions locales d'exposition. D'autre part leur faible volume les fait réagir beaucoup plus rapidement que les inlandsis aux variations dans l'alimentation et l'ablation: dans un même massif montagneux, le Mont Blanc par exemple (Vivian), tel glacier avance pendant que tel autre recule. A l'échelle du globe, et selon l'Institut de Glaciologie de Zürich, sur 23 glaciers d'Amérique du Nord, d'Islande, de Scandinavie, de France et de Suisse, 18 sont en régression et 5 en progression. Les glaciers de l'ouest du Spitsberg sont en recul constant depuis

Tableau 1: La cryosphère

		Surface Mkm ²	Volume Mkm ³
Glacé continentale	Antarctique	14	30
	Groenland	1,8	3
	Autres glaciers	0,5	0,1
	Neige ⁽¹⁾	1- 47	env. 0,001
Glacé de mer	Océan Austral ⁽¹⁾	4-20	0,005 - 0,03
	Arctique ⁽¹⁾	8-15	0,02 - 0,05
Rappel	Continents	150	—
	Océans	360	1350

(1) Selon la saison.

Source: LORIUS, 1991, p. 85.

1918, bien que les précipitations d'hiver soient en augmentation (Lefauconnier et Hagen). Selon les Japonais les glaciers de Patagonie subissent un recul accéléré, etc. On ne peut donc échapper à l'idée qu'il y a réchauffement: mais n'est-ce pas le prolongement naturel du déclin du Petit Âge de Glacé?

Le permafrost, enfin, doit être pris en considération, bien qu'il soit très mal étudié, car il est très étendu (20 Mkm²) et parfois fort épais (plusieurs centaines de mètres). Sa teneur en glace est variable. Son comportement actuel est énigmatique: il serait en voie de rétrécissement alors que les phénomènes du froid superficiel (palse, etc.) semblent s'accroître...

Que conclure de l'état de la cryosphère? Les reculs partout constatés indiquent un léger réchauffement. Mais ce réchauffement entraîne-t-il une ablation elle-même responsable d'un relèvement du niveau des mers? Oui, selon les uns: 6,5 des 15 cm de relèvement observés au cours du XIX^{ème} siècle seraient dus à cette fusion des glaces. Non, à la limite, selon d'autres, puisque les précipitations de neige augmentent l'épaisseur du Groenland (Zwally, in KERGOMARD, 1993). Incertitude à laquelle s'ajoute celle du décalage des réponses dans le temps.

3 – LE RÉCHAUFFEMENT DU GLOBE (?)

Lorsque les experts publient que la température moyenne du globe a augmenté de $0,6^{\circ}\text{C}$ de 1850 à 1990 (fig. 2), et qu'elle continuera

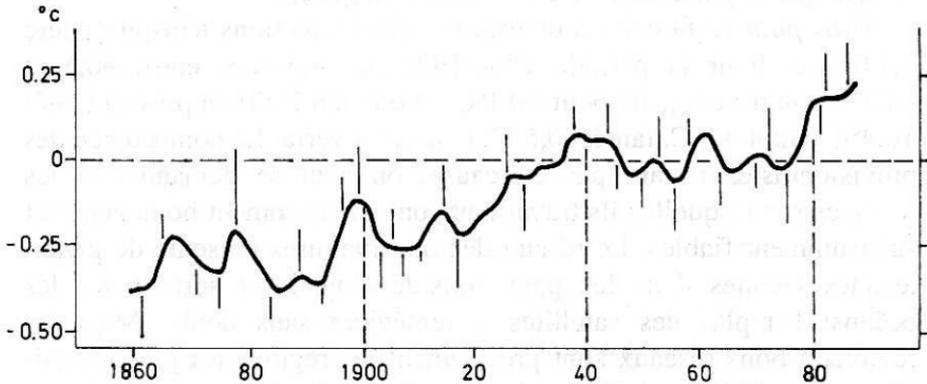


Figure 2 – Variations récentes de la température du globe (atmosphère + océans). Base: la moyenne des années 1950-1979. Les bâtonnets représentent certaines poussées annuelles. On voit clairement l'affaiblissement du Petit Age de Glace, suivi de deux réchauffements (1940 et 1980). A supposer que les observations de base soient fiables. Source: P. D. JONES, 1990.

d'augmenter de quelques degrés au siècle prochain, le climatologue n'y voit rien d'exceptionnel: la paléoclimatologie et la climatologie historique nous enseignent que l'humanité a connu de pareilles variations jusque dans un passé très récent. Depuis 12 000 ans la température moyenne a remonté de 8 ou 9°C , et la transition n'a pas toujours été progressive: une carotte de glace du Groenland révèle que le coup de froid de 8000 BP s'est terminé par un réchauffement brutal de 5°C en un demi-siècle (Dansgaard et Eschger), et sans qu'on puisse accuser les rejets industriels! Plus près de nous on relève l'anomalie de $+0,4^{\circ}\text{C}$ aux alentours de l'an 1100. Par conséquent *une élévation de température de $0,6^{\circ}\text{C}$ en 140 ans n'a rien de surprenant* surtout si, comme c'est le cas, elle marque le retour à la normale: le Petit Âge de Glace (toujours inexplicé, rappelons-le) va s'estompant, ainsi que le prouve le recul des glaciers alpins. Il est à noter, d'ailleurs, que cette augmentation des températures n'est pas uniforme. La moyenne de

1980-1989 comparée à la moyenne trentenaire de 1951-1980 indique des réchauffements de plus de $0,75^{\circ}\text{C}$ sur les régions les plus continentales (Canada, Sibérie, Sahara occidental, Soudan, Kalahari) et des refroidissements de plus de $0,5^{\circ}\text{C}$ sur le trajet des courants océaniques: Atlantique nord-ouest et sud-ouest, Pacifique nord-ouest. Ce qui prouve que le phénomène n'est ni simple ni général.

Mais pour le futur? La divergence des projections n'inspire guère confiance. Pour la période 1960-1990 on prévoyait entre $+0,5$ et $+1,7^{\circ}\text{C}$: on n'a eu qu'un petit $+0,1^{\circ}\text{C}$... Pour l'an 2000 on prévoit tantôt $+0,4^{\circ}\text{C}$ tantôt $+1^{\circ}\text{C}$, tantôt $-0,6^{\circ}\text{C}$. Qui vivra verra. La compétence des prévisionnistes n'étant pas en cause, on peut se demander si les données sur lesquelles ils travaillent sont suffisamment homogènes et suffisamment fiables. Le réseau des observatoires présente de gigantesques lacunes dans les pays sous-développés et surtout sur les océans: l'emploi des satellites y remédiera sans doute. Mais les régions à bons réseaux sont précisément les régions les plus urbanisées et dont l'hiver, plutôt froid, nécessite du chauffage: or on sait que la température, dans ce cas, peut augmenter de 1 à 2°C ... Enfin les thermomètres utilisés, souvent différents les uns des autres, sont loin d'atteindre partout la précision de $0,1^{\circ}\text{C}$ requise pour ce genre d'étude. Bref *il n'est pas scientifiquement démontré que la planète soit en voie de réchauffement* (TRICART, IDSO). On a des indices mais pas de preuves.

4 – LE TROU DE L'OZONE

En 1956-59 le physicien Dobson découvrait que l'ozone stratosphérique diminue fortement chaque printemps au-dessus de l'Antarctique puis se reconstitue l'été suivant, à l'image de ce que l'on connaissait déjà au Spitsberg. On observa ensuite que cette teneur de printemps est en voie de diminution: de 350 UD (unités Dobson) elle tombait à 150 UD en 1990. De la forme de l'aire concernée, un cercle de 5000 km de diamètre et qui coïncide avec le vortex polaire, est venue l'expression imagée de "trou de l'ozone". L'émotion fut vive. Les pôles attirant l'ozone chaque hiver, cette destruction, chaque printemps, dans l'Antarctique, n'allait-elle pas appauvrir progressivement la planète de son ozone, protecteur des UV- β solaires? De

graves dommages pour la biosphère étaient à craindre. Qui était responsable? Après avoir soupçonné le brome on mit en accusation les CFC, les chlorofluorocarbones, des gaz nouveaux d'origine industrielle: pulsés jusqu'à la stratosphère, ils se décomposeraient sous l'influence conjuguée du froid et des UV et libéreraient du chlore, gaz destructeur de l'ozone. L'emploi des CFC a alors été interdit par le protocole de Montréal, en 1987.

Mais cette interprétation est loin de faire l'unanimité parmi les savants. A l'examen il apparaît que *la diminution de l'ozone polaire, chaque printemps, n'est pas une nouveauté*: on l'avait observé en Norvège dès 1926, puis en 1941, donc bien avant l'apparition des CFC. Ce serait donc un phénomène naturel qui était passé inaperçu autrefois (les microbes existaient avant l'invention du microscope...). On objecte aussi que les océans, les volcans, les incendies de forêts, fournissent bien plus de chlore, chaque année (650 Mt) que les CFC (0,75 Mt). De même, que les CFC sont des gaz lourds, dont l'ascension jusqu'à la stratosphère n'a pas été mise en évidence. Que la disparition d'une partie des CFC dans l'atmosphère ne pose pas de problème particulier puisque ces gaz peuvent être absorbés, au sol, par diverses bactéries (phénomène dit du puits). Que la diminution de l'ozone prévue pour être de 2 à 3% de 1969 à 1986, ne s'est pas réalisée. Que, au pire, *une diminution de l'ozone de 1% n'aurait rien de dangereux* puisque elle n'accroîtrait les arrivées de rayons UV que de 2%: c'est ce que l'on risque en montant de 100m à la tour Eiffel... Bref, il est bien possible que les modélisations catastrophistes de l'*establishment* scientifique soient dépourvues de fondement. "En fait, écrit honnêtement LORIUS (1991), le spécialiste des analyses de glace de l'Antarctique, il n'existe pas de réponse claire et unique sur l'origine du trou de l'ozone, et de nouvelles recherches sont encore indispensables". L'indécision est donc totale.

5 – LES GAZ À EFFET DE SERRE

"Si la température du globe est en train de s'élever (ce qui n'est, peut-être, qu'un postulat...) c'est que les gaz à effet de serre sont plus abondants qu'autrefois et qu'ils exercent un forçage radiatif additionnel. La plupart de ces gaz existent à l'état naturel mais d'autres sont des produits industriels récents". Telle est la doctrine.

Le gaz carbonique. C'est le plus connu d'entre eux. On le mesure en général à son contenu en carbone, constituant de toute cellule vivante, mais d'origine volcanique. Le carbone est emmagasiné dans les océans (39 000 milliards de tonnes), dans la biosphère (1800 milliards de tonnes), dans l'atmosphère (700 milliards de tonnes). Chaque année un flux naturel de 100 milliards de tonnes régule, dans chaque sens, les échanges de carbone entre la planète solide et liquide et son atmosphère. Mais l'homme destocke du carbone qu'il envoie dans l'atmosphère par les combustions industrielles et domestiques (environ 6 milliards de tonnes par an: on notera que les centrales nucléaires ont l'avantage de ne pas émettre de gaz carbonique...) et les feux de forêts (1 à 2 milliards de tonnes). Une partie de cet excédent, 5 milliards de tonnes, est réabsorbé, on ne sait trop comment, par "effet de puits": mais il en reste 2 à 3 milliards (Lambert) qui s'accumulent chaque année dans l'atmosphère. D'où une augmentation des teneurs, parfaitement mesurée – par exemple 280 ppm (parties pour un million) en 1800, mais 315 vers 1950 et 345 de nos jours – et que l'on attribue fort logiquement à l'anthropisation du monde. Mais le hic est que *ces variations du gaz carbonique ne sont pas une nouveauté*. On a constaté par différentes méthodes, entre autres par la délicate analyse des bulles d'air emprisonnées dans les glaces polaires (LORIUS), que cette teneur marque un pic important à près de 300 ppm vers 132 000 BP, puis décroît jusqu'à 185 ppm vers 10 000 BP (début du Mésoolithique), puis remonte, d'abord lentement puis rapidement après 1750. Le fait est prouvé et indiscuté. Du forçage radiatif on veut pour preuve le parallélisme de la courbe (observée) du gaz carbonique, et de la courbe (en partie supposée) de la température (fig. 3). Mais est-ce le gaz carbonique qui fait monter la température ou la température qui fait monter le gaz carbonique, demande H. Tazieff? Ce couplage, d'ailleurs, n'a pas toujours été rigoureux. Pourquoi le gaz carbonique n'a-t-il pas augmenté lors du réchauffement Atlantique? Pourquoi n'a-t-il pas diminué lors du Petit Âge de Glace? Et qui oserait attribuer le pic de 132 000 BP à l'activité industrielle des Acheuléens...?

A l'évidence *toutes les augmentations de gaz carbonique ne sont pas d'origine anthropique*. On a songé, bien sûr, aux éruptions volcaniques: mais si leurs effets ponctuels sont démontrés, leur influence massive supposée et à long terme n'a laissé, dans le passé, nulle trace dans les glaces polaires.

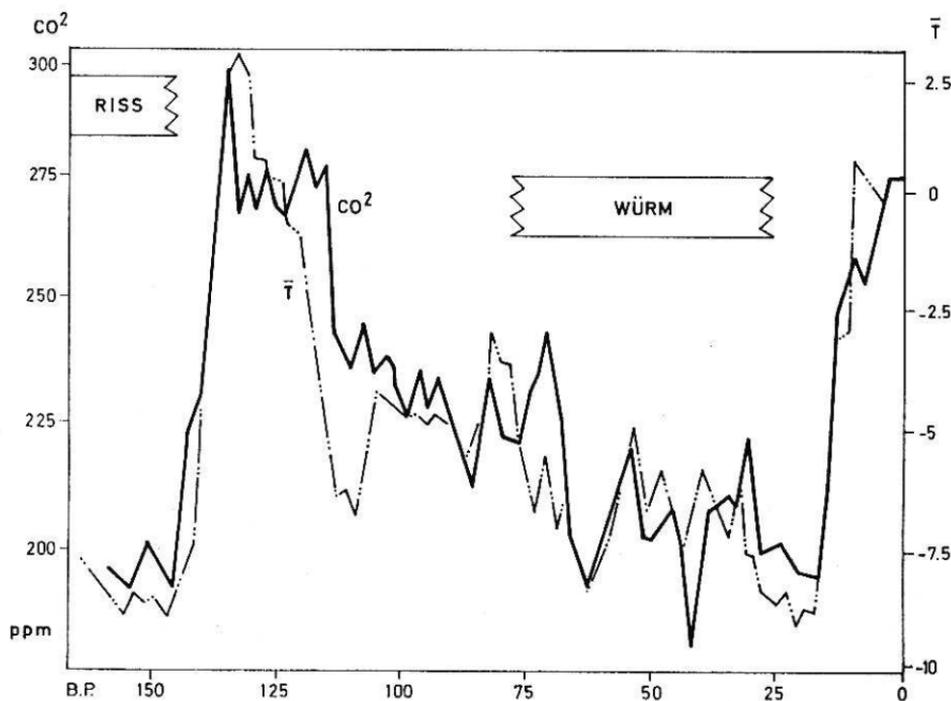


Figure 3 – *Gaz carbonique et température du globe depuis 160 000 ans. Gaz carbonique en ppm (parties par million). Température: écart par rapport à l'actuel, en °C. Le parallélisme des deux courbes est intéressant mais ne prouve rien. Les fortes teneurs en CO₂ sont très antérieures à l'ère industrielle. Source: LORIUS.*

La croissance du gaz carbonique, quelle qu'en soit la cause, étant un fait, quelles peuvent en être les conséquences pour la planète? Tout à fait bénéfiques répondent certains, notamment le biochimiste Sh. Idso, à condition de se tenir éloigné du seuil léthal de 15 000 ppm. *Le gaz carbonique étant la nourriture principale des végétaux* grâce à l'assimilation chlorophyllienne, toute la biosphère s'en trouvera revigorée... et ce sera un "greening of the Earth", et ce d'autant plus que le gaz carbonique limite les besoins en eau de ces végétaux. Par conséquent, à teneur de gaz carbonique doublée, les forêts progresseront aux dépens des prairies, des steppes et des toundras, au grand dam de l'érosion des sols; les milieux méditerranéens seront plus secs, et les milieux tempérés plus méditerranéens: la carte est déjà tracée

(Gondriaan). Catastrophe? *L'Homo sapiens* en a vu d'autres depuis 40 000 ans...

Autres gaz à effet de serre (Mégie). Le plus courant et le plus répandu est évidemment la *vapeur d'eau*, issue de l'évaporation de la planète et aussi des éruptions volcaniques (18 milliards de tonnes). À noter que la vapeur d'eau est d'autant plus abondante que l'air est plus chaud.

Le méthane, autre gaz naturel, résulte de la décomposition anaérobie de la matière organique. À eux seuls les marécages, les termites, les eaux douces ou océaniques, et les hydrates, émettent en moyenne 175 Mt de méthane par an, à quoi il faut ajouter les 350 Mt d'origine anthropique, issues des rizières, des déjections du bétail, des fuites de carburants, des combustions et des déchets de nature organique. Il n'est donc pas étonnant que la teneur de l'atmosphère en méthane ait été multipliée par 2,5 en un siècle.

Le protoxyde d'azote est un autre gaz à effet de serre: 10 tonnes au maximum sont produits chaque année par la matière organique des sols et des eaux océaniques et continentales pour plus de la moitié, le reste provenant des engrais et des combustions anthropiques. Les aérosols d'anhydride sulfureux océaniques ou volcaniques seraient également nocifs.

Mais la palme de la célébrité revient aux CFC, c'est à dire aux *chlorofluorocarbures*. Ces cinq gaz, d'origine strictement industrielle, sont précieux par leur remarquable inertie: ils équipent les réfrigérateurs et les bombes d'aérosols, et on en fait des mousses isolantes. Mais ils seraient dangereux par le chlore qu'ils contiennent. Selon les industriels de la chimie, on en aurait produit jusqu'à 1,2 Mt par an: on ignore les quantités qui sont passées dans l'atmosphère.

Mais la nocivité de chacun de ces gaz doit être pondérée en fonction de deux paramètres. Le premier est l'efficacité spécifique de chacun d'entre eux, dite "*potentiel d'échauffement*": de ce point de vue les CFC sont 7100 fois plus efficaces que le gaz carbonique, par exemple. Le second est la "*constante de temps*", c'est-à-dire la durée de vie de chaque gaz dans l'atmosphère: et là encore les CFC viennent en tête. On comprend l'inquiétude des experts, mais dans la mesure où l'intervention réelle des CFC dans l'effet de serre et la destruction de l'ozone serait irréfutablement démontrée: et c'est là que réside tout le problème.

6 – LA DÉFORESTATION TROPICALE

Pour apprécier les effets de la déforestation il faut d'abord définir ce qu'est une forêt (un bois-fourré est-il une forêt?), mesurer sa surface, et préciser son évolution. Exercice plein d'embûches. Les chiffres généralement admis (forêts du globe 36 Mkm², dont 19 pour les forêts tropicales) remontent à 1986, et depuis les forêts ont reculé: les forêts tempérées, peu; les forêts tropicales beaucoup (125 000 à 150 000 km² par an); les forêts boréales probablement autant. Nous pouvons donc admettre que les forêts tropicales mesurent de 17 à 18 Mkm². Quels sont les inconvénients de ce recul?

Pour la qualité de l'atmosphère? Les émissions de gaz carbonique par les brûlis seraient en tout de 2 milliards de tonnes par an, dont 1,6 pour les pays tropicaux, soit à peu près l'équivalent des émissions industrielles: les experts sont loin d'être d'accord. L'opinion internationale s'en inquiète fortement. Mais on ne fait jamais remarquer que la végétation secondaire, savanes, bois de repousse et cultures, qui remplace très rapidement les forêts détruites sous ces climats, absorbera nécessairement l'excédent de gaz carbonique... D'autre part cette déforestation prive-t-elle la recharge annuelle de l'atmosphère mondial en oxygène? L'Amazonie poumon du monde? Rien n'est moins sûr. La *production totale d'oxygène* par la planète est d'environ 400 milliards de t par an, se subdivisant en 90% pour les océans et 10% pour les continents: ce qui laisse 4,6% aux forêts en général et 3,6% aux forêts tropicales en particulier. Donc, si l'on admet une production unitaire d'oxygène de 800 t/km²/an (jugée d'ailleurs excessive par les forestiers) la déforestation tropicale priverait la planète de 0,03% de sa recharge annuelle en oxygène... s'il n'y avait pas repousse de végétation secondaire. Ajoutons que la destruction de la forêt ombrophile, et surtout de la forêt marécageuse, pour désolante qu'elle soit, présenterait l'avantage imprévu de diminuer l'effet de serre puisqu'elle supprimerait une source importante de méthane...

Pour les précipitations? Depuis Buffon on admet que les forêts font pleuvoir, malgré les protestations, certes nuancées, des forestiers et des hydrologues. Donc la déforestation diminue la pluviométrie? Voire, car il ne faut pas confondre trois notions différentes. Le *potentiel précipitable*: il est augmenté par l'évapotranspiration des forêts. La *pluie*: elle est très légèrement augmentée, un surcroît de 6% étant

un maximum exceptionnel, écrivent séparément R. GEIGER (1966) et J. PARDÉ (1974). Mais en circuit fermé, par condensation locale de l'évapotranspiration Ev ; et cela, le bilan hydrologique $Pr = Ev + Dr$ nous l'enseigne clairement, aux dépens de l'écoulement Dr . On doit donc admettre, paradoxalement, que la déforestation fait monter légèrement le niveau des fleuves... Mais *les mécanismes pluviogènes?* Les forêts ne les améliorent pas. M. Leroux a démontré (1983 et 1988) que les grands massifs forestiers d'Afrique gênent l'arrivée du FIT, mécanisme essentiel des précipitations, car ils inhibent partiellement les mouvements de convection de l'atmosphère d'une part par le médiocre albédo de leur feuillage, d'autre part par le refroidissement dû à l'évapotranspiration.

Pour les sols? La déforestation, sans aucun doute possible, *accélère l'érosion des sols tropicaux*. Certes, sur terrain horizontal déboisé, l'érosion hydrique n'est pas catastrophique. Mais elle se déchaîne dès qu'il y a la moindre pente, décape le très mince horizon humifère, creuse des ravineaux, apporte à la rivière des milliers de tonnes de sable et d'argile qui deviendront des bancs alluviaux encombrants et colmateront les retenues artificielles. Les crues seront aggravées en débit et en soudaineté, sapant et faisant ébouler les berges tendres, etc. A l'évidence la déforestation traditionnelle par brûlis est moins nocive que par bull-dozer car elle, au moins, respecte les souches; et les façons culturales locales enravent une partie du ruissellement.

Les déforestations tropicales sont donc, effectivement, des catastrophes locales ou régionales: mais elles semblent "n'avoir qu'un effet négligeable sur le climat du globe" (HENDERSON et GORNITZ, in LEROUX). Cette conclusion optimiste n'est probablement pas valable pour les forêts boréales (Canada, Sibérie) dont, curieusement, on ne parle pas. Pourtant elle ne sont remplacées par rien après déforestation, tant la repousse est lente, sinon par des marécages.

Enfin, pour attristante qu'elle soit, la déforestation n'annonce pas la fin du monde. Depuis le début du Néolithique 34 Mkm² ont été déboisés, sur une surface initiale à vocation forestière de 64 Mkm² environ: cela n'a pas empêché l'espèce humaine de prospérer, puisque l'espérance de vie passait simultanément de 25 à 60 ans en gros, et le nombre des habitants de 6 millions à 6 milliards... Il faut croire que "les émissions des champs de céréales valent bien celles des forêts".

LES INCERTITUDES

Au terme de cette rapide analyse des tenants et des aboutissants du "Global Change" il apparaît que bien des zones d'ombre subsistent.

1 – INSUFFISANCE DES PARAMÈTRES

On a d'abord l'impression que tous les paramètres susceptibles d'être impliqués n'ont été ni également ni convenablement pris en compte. Le *signal astronomique* est considéré comme une vieille lune bien que les cycles calculés par Milankovitch dès 1920 (cycles de 20 000 ans, de 40 000 ans, de 100 000 ans) connaissent un regain de faveur en paléoclimatologie. La *mobilité de l'écorce terrestre*, qui se manifeste par l'expansion des océans, les éruptions volcaniques sous-marines, les marées terrestres, les mouvements de compensation, semble ignorée des climatologues. L'*hydrosphère océanique*, sa prodigieuse inertie thermique, ses courants de fond, ses émissions de gaz et d'aérosols, ses albédos changeants, sont à peine évoqués. La *cryosphère* est traitée comme si elle avait partout la même épaisseur, la même température, le même albédo. La *biosphère* n'est guère mieux analysée: on ne dit rien du calendrier des brûlis tropicaux, des végétations de repousse, des émissions animales (bêtes et gens compris) de méthane comme de gaz carbonique, des condensations sur les forêts, des albédos saisonniers, des sols qui émettent ou qui absorbent. L'*atmosphère*, enfin, n'est pas tellement avantagée: *quid* de la vapeur d'eau, *quid* des nébulosités, du cycle naturel de l'ozone? Il arrive inversement que l'on attache du crédit à des observations mal faites: mesure du niveau de la mer en régions instables, mesure du gaz carbonique ou du chlore à proximité de volcans actifs, tels que le Mauna Loa ou l'Erebus, mesure de température par des observatoires non comparables, etc. Bref, la collecte des paramètres n'est pas toujours irréprochable. Est-il licite de prédire l'avenir lorsque la documentation de base présente de telles lacunes? Ne nous dissimulons pas, par ailleurs, que plus on prendra de paramètres en considération plus les calculs s'allongeront et plus ils perdront en précision.

2 – PROBLÈMES DE RÉTROACTION

Nous avons déjà fait allusion aux rétroactions, facteur essentiel de complication du système Terre. Il est en effet rarissime qu'un événement n'y ait qu'une seule conséquence. Prenons deux exemples. Si la température augmente par forçage radiatif, l'évaporation des océans, puis la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère vont augmenter. A partir de là, deux hypothèses sont possibles. Ou bien la nébulosité croît en relativement haute atmosphère, et il y a diminution de l'albédo, renforcement de l'effet de serre et accentuation du réchauffement: c'est une rétroaction positive. Ou bien de gros nuages fortement réfléchissants apparaissent à basse altitude et l'accroissement d'albédo rafraîchit l'atmosphère: c'est une rétroaction négative. Qui va nous dire la nature et l'altitude des nuages déclenchés par le forçage initial? Et qui va en chiffrer les effets?

Second exemple. Nous admettons encore une élévation de température par effet de serre. Il est à prévoir qu'elle fera fondre les glaciers, certaines époques interglaciaires le prouvent. Or ce réchauffement, déclenchant de l'évaporation et humidifiant l'atmosphère (voir plus haut), rend l'air plus instable et favorise les précipitations. Donc les chutes de neige dans les latitudes, ou les altitudes, restées froides. Donc fortifie les glaciers, ce qui majore l'albédo et refroidit l'atmosphère... Le cycle est bouclé. Qui va nous dire à partir de quel seuil de température (ou d'humidité, ou d'albédo) la rétroaction de positive devient négative par effet de bascule? Et ce problème de rétroaction peut être troublé par l'arrivée perturbante de nouveaux facteurs cosmiques, ou telluriques ou biologiques... Difficilement maîtrisables en laboratoire de tels phénomènes deviennent impossibles à prévoir dans la nature.

3 – PROBLÈMES D'INERTIE

Reste à faire intervenir le *facteur temps*. Il y a forcément décalage chronologique entre le déclenchement d'un phénomène et son aboutissement, et ce à cause des retards dûs à l'inertie: inertie thermique, inertie mécanique, inertie biologique, etc. Prenons le cas des *inerties thermiques*. Elles dépendent des propriétés physiques des corps: le sol

(clair ou foncé, sec ou humide), la roche (claire ou foncée), la glace (plus ou moins froide), l'air (plus ou moins humide), l'eau (plus ou moins salée), etc., ne se réchauffent ou ne se refroidissent pas à la même vitesse. Elles dépendent aussi des volumes concernés: Thibet ou Pampa argentine? Petit problème: si un réchauffement de 8°C a fait fondre 50 Mkm^3 de glaciers Würmiens en 12 millénaires, combien de temps mettront 3°C pour faire fondre les 33 Mkm^3 de glaces actuelles? La règle de trois répond: 20 000 ans. Caricature, évidemment, car ce n'est pas si simple. Que dire aussi de la prodigieuse inertie thermique de 1,35 milliards de km^3 d'eaux océaniques... *Le Global Change étant un système de systèmes* il faudrait ensuite étudier les relations entre l'inertie du binôme atmosphère-océans avec l'inertie du binôme glaciers-océans, etc. J'espère que le lecteur appréciera l'énormité de la tâche...

4 – PROBLÈMES DE MODÉLISATION

On ne peut évidemment tenter de prévoir les variations climatiques du futur qu'en les modélisant et, vues les complications des calculs, en utilisant des ordinateurs perfectionnés. Cela consiste à introduire dans l'équation *trois types de variables*: les variables d'entrée, les variables de sortie et les variables de l'ensemble dites variables d'état. Or ces variables sont choisies par l'opérateur en fonction de son expérience scientifique, de son intuition, du programme... et du financement de son laboratoire. Il y a donc choix préalable, orientation délibérée: la machine, heureusement, ne choisit pas.

Dans le cas du "Global Change" on procède à trois niveaux successifs. On fait d'abord "*une modélisation économique et industrielle* qui prédit les taux d'injection du gaz carbonique et des CFC dans l'atmosphère" (R. KANDEL) car ces gaz sont tenus a priori pour responsables. Or comment l'opérateur connaît-il ces "taux d'injection", ceux des CFC du moins? Par les industriels qui les fabriquent, et qui peuvent avoir intérêt à les surestimer ou à les sous-estimer sciemment (Maduro et Schauer mann). Seconde difficulté à surmonter, la *modélisation géochimique*, destinée à prédire la circulation et la fixation de ces gaz dans l'atmosphère, les océans, les sols, etc. Or les échanges entre phases différentes (solide, liquide, gazeuse), objets de la chimie dite hétérogène, sont encore mal maîtrisés en laboratoire: a fortiori

dans la nature. Troisième étape, la *modélisation climatique*, qui a pour but de prédire les réactions du climat à cette géochimie. Elle est longue et difficile. On subdivise l'atmosphère en mailles, en plaques de quelques centaines de kilomètres de côté et de 1 km d'épaisseur (il y en a donc des milliers) et l'on cherche à comprendre les interactions de tous les paramètres que l'on y a introduits. Opération laborieuse mais finalement peu fiable puisque les dés peuvent avoir été pipés d'entrée de jeu. On se demande d'ailleurs comment les modélisations climatiques pourraient prédire le temps qu'il fera dans cent ou deux cents ans, elles qui sont incapables de le faire à l'échéance d'une quinzaine de jours... Ajoutons que le fait de *reconnaître un lien de causalité entre deux courbes* sous prétexte qu'elles sont parallèles (par exemple la courbe du gaz carbonique et celle de la température de l'air, fig. 3) est un procédé plus que discutable. "Le nombre de cigognes décroît depuis des décennies en Allemagne. Au même moment le taux des naissances diminue. Preuve évidente que ce sont les cigognes qui apportent les bébés!" écrit avec humour le biologiste américain Bruce N. Ames.

En résumé. Le niveau des océans se relève lentement sans qu'on sache exactement pourquoi. Le début de recul des glaciers implique un léger réchauffement planétaire. Des observations météorologiques non fiables indiquent un léger réchauffement de l'atmosphère. Le trou de l'ozone est une réalité, mais ce n'est pas une nouveauté, et on en ignore la cause exacte. Les émissions industrielles sont certainement nocives mais on en ignore les conséquences exactes, notamment sur l'effet de serre. Il est démontré que la teneur de l'air en gaz carbonique augmente régulièrement, mais on ne sait pas vraiment pourquoi. Cette croissance du gaz carbonique est, d'ailleurs, dans certaines limites, bénéfique pour la végétation. La déforestation tropicale est catastrophique pour les pays tropicaux par le biais de l'érosion, mais elle ne semble pas avoir de conséquences fâcheuses pour l'atmosphère planétaire. Même conclusion pour la déforestation boréale.

Au total un faisceau troublant de présomptions, mais aucune preuve irréfutable de l'enchaînement causal de ces phénomènes. Devant les incertitudes évidentes de la science, devant la possibilité d'une manipulation idéologique et/ou commerciale en arrière plan, il est indispensable d'attendre pour se faire une opinion fondée en raison sur les problèmes du Global Change.

L'auteur n'a eu connaissance de l'article de Denise de Brum Ferreira ("L'effet de serre en débat", *Finisterra*, 51, 1991, pp. 116-140) que fin novembre 1993. Cet article, objectif et bien documenté, aboutit finalement au même constat d'incertitude sur le plan scientifique.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

- D.O.E. (1991) – *Multi-Laboratory Climate Change Committee, Energy and climate*, Chelsea, Mich., Lewis, 162 p. (travail collectif de 30 chercheurs, très clair).
- GOUDIE, A. (1992) – *The Human Impact on the Natural Environment*, Oxford, Blackwell, 3^{ème} éd. 388 p. (classique; voir chap. 7 et 8).
- GONDRIAAN, J. (1992) – Le réchauffement et la végétation, Paris, *La Recherche*: 606-609 (intéressantes cartes prospectives).
- GREGORY, K.J. et WALLING D.E., (1987) – *Human Activity and Environmental Processes*, Chichester, J. Wiley, 466 p. (travail collectif de 16 auteurs, classique, succinct).
- IDSO, S. (1989) – *Carbon Dioxide and Global Change*, Tempe, Ariz., I.B.S., 292 p. (technique, réconfortant, bibliographie de 2000 titres).
- JONES, P.D. (1990) – Le climat des milles dernières années, Paris, *La Recherche*: 304-312 (sérieux et lisible).
- KERGOMARD Cl. (1993) – *Variations récentes et tendances du climat en régions polaires*, 4 p., inédit (objectif, prudent).
- LENOIR, Y. (1992) – *La vérité sur l'effet de serre*, Paris, La Découverte, 173 p. (solide et technique).
- LORIUS, Cl. (1991) – *Glaces de l'Antarctique*, Paris, Odile Jacob, 301 p. (fondamental, honnête, prudent).
- MAC CRACKEN, M.C., et BUDYKO M.I., (1990) – *Prospect for future Climate*, Chelsea, Mich., Lewis Publ., 270 p. (travail collectif de 12 spécialistes américains et de 9 spécialistes soviétiques; savant mais clair).
- MÉGIE, G. (1992) – *Stratosphère et couche d'ozone*, Paris, Masson, 121 p. (spécialisé mais lisible).
- PASKOFF, R., (1987) – Les variations du niveau de la mer, Paris, *La Recherche*: 1010-1019 (précieuse mise au point, plutôt eustaticien).
- PIRAZZOLI, P.A. (1991) – *World Atlas of Holocene Sea Level Changes*, Amsterdam, Elsevier, Oceano. Ser., 58, 300 p. (exhaustif, mobiliste).
- TAZIEFF, H. (1989) – *La Terre va-t-elle cesser de tourner?* Paris, Seghers, 1, 175 p. (expérience et bon sens).

Résumé

RÉFLEXIONS SUR LE "GLOBAL CHANGE"

On appelle "Global Change" le réchauffement éventuel du climat planétaire sous l'influence de la déforestation et de l'émission de gaz industriels. Le présent article est une réflexion critique menée à partir des faits géographiques réellement observés. Le niveau des océans monte en moyenne de 10 à 15 cm par siècle mais ce n'est pas la preuve d'un réchauffement climatique puisque la géométrie du relief sous-marin est variable. La fusion des petits glaciers est, sauf exception, incontestable, mais celle des inlandsis (99% de la cryosphère) ne l'est pas: les calottes glaciaires auraient plutôt tendance à épaissir. L'augmentation régulière de la teneur de l'atmosphère en gaz carbonique est certaine, mais sa cause anthropique (déforestation, rejets industriels) ne l'est pas. Le réchauffement général du globe est probable mais non scientifiquement démontré. La responsabilité des chlorofluorocarbones, gaz industriels récents, dans l'accroissement de l'effet de serre n'est pas établie. Elle ne l'est pas non plus dans la formation du "trou de l'ozone", phénomène saisonnier observé bien avant l'invention desdits gaz. – En conclusion il est encore trop tôt, dans l'état actuel de la science, pour affirmer la réalité du Global Change.

Mots-clés: changements climatiques, niveau de la mer, glaces de mer, glaciers, déforestation, gaz carbonique, CFC, ozone, modélisation.

Summary

THINKING ABOUT GLOBAL CHANGE

"Global Change" is the name of the hypothetical warming of our planet, asserted to be of human origin, resulting from deforestation, production of industrial gases, etc. The article aims to establish clearly the effective geographical facts upon which the theory is (or should be) built. Sea level is, indeed, rising at the rate of 10-15 cm per century: but we do not know why, owing to the geological mobility of the oceanic floor. The melting of mountain glaciers is obvious, but inlandsis masses are thickening at their centres in such a way that they do not release more water to the sea than in the past. We have scientific proof that carbon dioxide concentration in the atmosphere is growing (which is not so bad for plants), but the responsibility of mankind, if probable, is not actually demonstrated. The warming of our planet is likely,

but is not scientifically certain. The effects of industrial gases, such as chlorofluorocarbons, either in relation to the supposed increase of the greenhouse effect or in the formation of the Antarctic "ozone hole" (known for half a century) is not a demonstrated fact. In short, the possibility of a natural origin of these phenomena is always ignored. Consequently, we conclude that it is too soon to admit the sole responsibility of mankind in "Global Change". We need to obtain more unquestionable proof.

Key-words: climate change, sea level, icebergs, glaciers, deforestation, carbonic gas, CFC, ozone, modelling.

Resumo

REFLEXÕES SOBRE O "GLOBAL CHANGE"

Designa-se por "Global Change" o hipotético aquecimento do planeta em consequência da desflorestação e da emissão de gases industriais. O presente artigo constitui uma reflexão crítica baseada em factos geográficos realmente observados. A subida do nível dos oceanos de 10 a 15 cm, em média, por século não constitui uma prova de aquecimento do planeta, devido existirem alterações do relevo submarino. A fusão de pequenos glaciares é incontestável, mas a fusão dos *inlandsis* não: as calotes glaciares teriam mesmo tendência a aumentar. O aumento regular do teor de dióxido de carbono na atmosfera é um facto, mas a responsabilidade humana, se provável, não está demonstrada. A relação entre o aumento da emissão dos gases industriais, como os clorofluorcarbonetos, no aumento do efeito de estufa e na formação do "buraco de ozono" Antártico (conhecido há mais de 50 anos, antes da invenção desses gases) não está comprovado. Em conclusão, no estado actual da ciência é ainda cedo para afirmar a existência do Global Change.

Palavras-Chave: variações climáticas, nível do mar, *icebergs*, glaciares, desflorestação, dióxido de carbono, CFC, ozono, modelização.