

L'influence de l'homme sur le réchauffement climatique

Par Benjamin LISAN

Le 3/10/05

1	Les changements du climat dans le passé.....	1
2	Les facteurs influençant le climat planétaire.....	3
3	Effet de serre	5
1.1	L'influence des éruptions volcaniques sur l'effet de serre	5
4	Le réchauffement planétaire	5
1.2	L'augmentation de la concentration de CO2 dans l'atmosphère	6
1.3	Le cas "El Niño".....	7
5	Les preuves de l'influence de l'homme sur le réchauffement du climat.....	7
6	La production actuelle de CO2 par l'homme	8
7	Le cas des Etats-Unis, les plus grands pollueurs du monde et du Canada.....	9
8	Ce que prévoient pour l'avenir, les simulations informatiques en France et à l'étranger.....	9
1.4	L'augmentation de la température et du niveau des océans	9
1.5	L'ozone.....	10
1.6	La circulation des courants océaniques.....	10
1.7	L'oscillation Nord-Atlantique (ONA)	12
1.8	L'augmentation du CO2 atmosphérique et la diminution des puits de carbone	13
1.8.1	La contribution de la déforestation de la planète à l'augmentation du CO2 atmosphérique	13
1.8.2	La diminution de l'absorption du CO2 par les océans, en raison de leurs réchauffements	13
9	En conclusion, causes et conséquences possibles de l'effet de serre sur le climat	13
19	La prévention du phénomène et les solutions.....	14
20	Le coût de la réduction du CO2.....	16
21	Conférence de Genève sur le Climat en 1979	16
22	Le protocole de Montréal de 1987.....	17
23	Le Sommet de la Terre à Rio en 1992	17
24	Le protocole de Kyoto de 1997	17
25	Sommet Mondial sur le Développement Durable de Johannesburg en 2002.....	19
26	Pacte climatique entre les USA, l'Australie et 3 pays d'Asie en 2005	20
27	La position adoptée par les Etats-Unis à propos de l'accord de Kyoto et ses raisons	20
1.9	Les raisons de cette position.....	20
1.10	Les conséquences de cette position	21
28	En conclusion	21
29	Bibliographie.....	22
30	Les hydrates de Méthanes	24
31	L'évapotranspiration	25
32	Les « puits de carbone »	26
33	Les glaciations et ères ou périodes glacières	27
34	La température de surface des planètes.....	28
35	Deux projets de stockage du CO2 dans le sous-sol	29
1.10.1	Stockage de CO2 dans les sables bitumineux.....	29
1.10.2	Stockage de CO2 dans les roches volcaniques.....	29
36	Annexe : « GWP » Potentiel d'effet de serre (horizon 100 ans, source IPCC 1995).....	30
37	Le bilan du carbone anthropique pour la décennie 1980 – 1989.....	33

1 Les changements du climat dans le passé

La Terre a une température à peu près constante depuis l'apparition de la vie ; il y a eu des périodes plus chaudes et d'autres plus froides, mais jamais éloignée de plus de quelques degrés par rapport à une moyenne d'environ 15°C. Cette stabilité est due à la présence d'eau qui recouvre près des trois quarts de la surface de la planète (qui passe selon la température planétaire de l'océan à l'air ou aux glaciers) et aux êtres vivants qui occupent sous diverses formes toute la planète.

La variabilité naturelle du climat planétaire est normale, et tient aux fluctuations des courants océaniques, aux éruptions volcaniques, au rayonnement solaire, aux paramètres astronomiques et à d'autres composantes du système climatique encore partiellement incomprises [32].

Le climat de la terre n'a cessé de passer alternativement, de périodes chaudes à des périodes glaciaires. Ces épisodes climatiques ont influé fortement sur le niveau moyen des océans, ce niveau ayant pu descendre de -300 m à +50 m par rapport au niveau actuel des mers, provoquant l'avancée (transgression) ou le recul (régression) de la mer, à l'intérieur des terres émergées [3] ¹.

Par exemple entre 65 millions d'années et maintenant (durant les époques tertiaire et quaternaire), il y a eu 6 à 7 avancées et reculs significatifs de la mer, dans le bassin parisien. De - 49 millions d'années à - 43 millions d'années (Lutétien), il y a 3 cycles (voir graphique ci-joint) et le niveau de la mer a pu dépasser de 50 mètres le niveau actuel des mers :

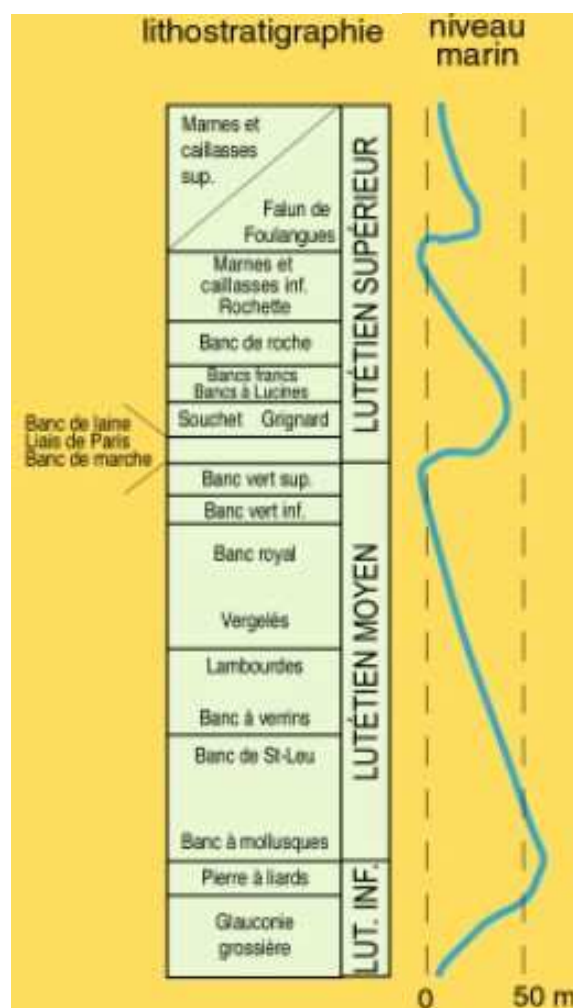


Schéma extrait d'un graphique sur les l'évolution du niveau des mer à l'époque Lutétienne [17].

De - 43 millions d'années à - 37 millions d'années (Bartonien), il y a 2 cycles de transgression et régression (une grande suivie d'une petite). De - 37 millions d'années à - 25 millions d'années (Stampien), il y a une dernière transgression marine, la plus intense du tertiaire (c'est celle qui a déposé les sables de fontainebleau et d'ermenonville).

Durant l'ère quaternaire (2 millions d'années), durant laquelle l'homme est apparu sur la terre, on constate de longues périodes froides et glacières intenses. Le sol est gelé sur 3 ou 4 mètres de profondeur. Voici 12 000 ans apparaît un dégel général qui modèle des pentes, des vallées et vallons.

¹ Si les glaces du Groenland venaient à fondre, le niveau des mers s'élèverait de 7 mètres. Si l'on y ajoutait la calotte antarctique, il monterait de 70 mètres [36].

2 Les facteurs influençant le climat planétaire

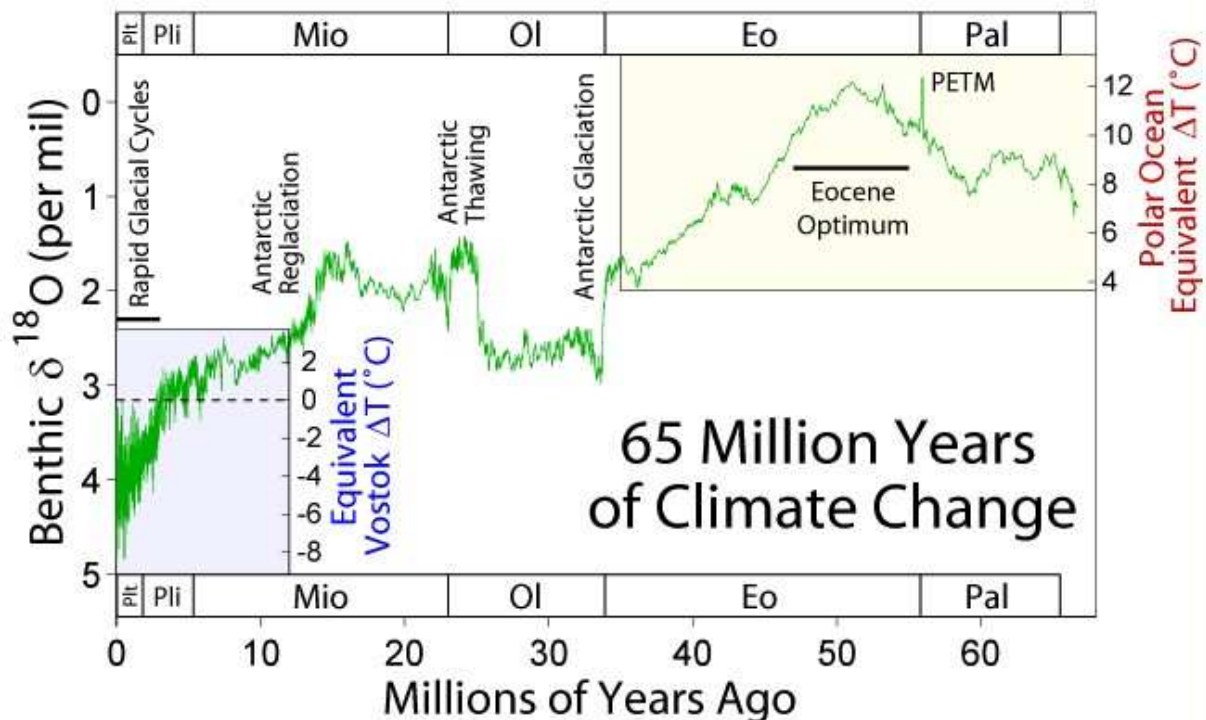
La tectonique des plaques et la composition chimique de l'atmosphère, en particulier la teneur en dioxyde de carbone CO_2 , ont eu un effet majeur sur le climat [3][4]. La teneur en CO_2 étant elle-même dépendante des sources (volcanisme) et des puits de carbone (altération chimique des silicates, enfouissement de la matière organique dans le sol, la mer, absorption du CO_2 par l'océan et lors de la formation des roches carbonatées – calcaires, craies, dolomites ...).

Le climat de la terre a pu varier rapidement, comme l'optimum thermique du Paléocène supérieur ou le refroidissement de la limite Eocène-Oligocène, représentatif de ces transitions rapides.

La fin du Paléocène (de -55.5/-54.8 Ma) a été marquée par un changement soudain mondial du climat, appelé « le maximum thermique paléocène-éocène » (PETM), marqué par un réchauffement de 4°C à 8°C et par une forte baisse de la présence du Carbone 13, s'expliquant par l'introduction en quantité dans l'atmosphère et l'océan, de carbone 12, renversant la circulation océanique et atmosphérique et ayant mené à l'extinction de nombreux animaux [1] (voir graphique ci-dessous).

Les causes de ces événements soudains sont très variables : a) éruption volcanique, b) dissociation d'hydrate de gaz, c) chute de corps extraterrestre qui ont pu provoquer des tsunamis gigantesques et fatals, d) voire des variations passées de l'obliquité de l'axe de la terre, e) voire la modulation de l'énergie solaire reçue par notre planète, due aux changements de l'orbite que la Terre décrit autour du soleil (théorie de Milankovitch), f) voire des variations du rayonnement énergétique, liées aux variations de l'activité du moteur thermonucléaire du soleil (on sait que le bilan radiatif du soleil varie en moyenne actuellement tous les 11 ans) ...

La conséquence est toujours la même, pour les 3 premières causes : une modification rapide de la composition chimique de l'atmosphère donc du bilan des échanges d'énergie entre terre et l'espace.



Graphique du changement du climat de la terre, sur 65 millions d'années [1bis].

Les émissions de méthane résultant de la dissociation des hydrates de méthane sont suggérées pour expliquer certaines transitions climatiques relativement brèves tel que :

- l'optimum climatique de la fin du Paléocène (LPTM),
- la grande extinction de masse – avec la disparition de plus de 90 % des espèces vivantes sur terre² – de la limite Permien-Trias (il y a 251 millions d'années, qui dura 80000 ans),
- de la limite crétacé-tertiaire (il y a 65 millions d'années, voyant la disparition de tous les dinosaures) [5] (voir encadré sur les extinctions de masse plus loin).

² 95% de toutes les espèces, 70% des espèces terrestres telles que les plantes, les insectes et les vertébrés et 57 % de toutes les familles. Parmi les reptiles, qui venaient d'apparaître, 89 genres sur 90 disparaissent

On rajoute à cette possible cause du rejet du méthane, dans l'atmosphère, une autre cause qui a pu être un « précurseur », celle des épanchements volcaniques extraordinaires (appelés trapps) en Sibérie ³. Les scientifiques estiment à 3 millions km³ de lave rejetée lors de cet épisode.

Les extinctions de masse

Les scientifiques constatent que cinq extinctions de masse se sont déjà produites dans le passé : 1) provoquant la disparition de 85 % des espèces il y a 440 millions d'années (Ma), 2) 75 % des espèces marines il y a 365 Ma, 3) 95 % des espèces marines il y a 245 Ma, 4) 75 % des espèces marines il y a 215 Ma et 5) 75 % des espèces animales il y a 65 Ma.

1) L'extinction de l'**Ordovicien - Silurien**, il y a 439 millions d'années, fut causée par la baisse des océans lors de la formation des glaciers, ensuite par la remontée du niveau des océans lorsque les glaciers fondèrent. Au total 25% des familles marines disparurent ainsi que 60% des espèces marines. On trouve une anomalie de carbone dans les sédiments des récifs coralliens traduisant un effondrement de la biosphère marine. 2 impacts sur 3 ont lieu en mer.

2) L'extinction du **Dévonien**, il y a 365 millions d'années, est peut-être due à la chute de météorite(s) suivi d'un refroidissement du climat _ On trouve aussi une anomalie de carbone (baisse de la biomasse, marqueur d'un effondrement général de la productivité des océans). Des pics d'iridium furent aussi découverts. Elle fit disparaître 22% des familles marines et 57% des espèces marines.

3) la grande extinction de masse _ avec la disparition de plus de 90 % des espèces vivantes sur terre (95% de toutes les espèces, 70% des espèces terrestres telles que les plantes, les insectes et les vertébrés et 57 % de toutes les familles. Parmi les reptiles, qui venaient d'apparaître, 89 genres sur 90 disparaissent) _ de la **limite Permien-Trias** (il y a 251 millions d'années, qui dura 80000 ans),

4) l'extinction de la limite **Trias-Jurassique**, il y a 245 millions d'années, avec la disparition de 95 % des espèces marines. Les principaux groupes touchés sont les Ammonoïdes, Nautiloïdes, Brachiopodes, Mollusque bivalves (taxodontes), Gastéropodes et Conodontes. Les Amphibiens et Reptiles sont également décimés. C'est la crise la moins connue. Pour l'expliquer, les arguments et hypothèses avancés sont surtout un refroidissement global, un impact, le volcanisme ou un changement de la salinité (hypersalinité).

5) celle de la limite crétacé-tertiaire (il y a 65 millions d'années, voyant la disparition de tous les dinosaures) [5]. 95% de toutes les espèces, 70% des espèces terrestres telles que les plantes, les insectes et les vertébrés et 57 % de toutes les familles. Parmi les reptiles, qui venaient d'apparaître, 89 genres sur 90 disparaissent.

6) Certains parlent d'une **sixième extinction des espèces**, à l'heure actuelle. On la mets d'abord sur le changement rapide climatique durant l'ère glaciaire et à la fin de celle-ci, sur l'homme, d'abord par sa prédation (la chasse) puis par son action sur la disparition des espaces naturels au profit de zones agricoles et sur le réchauffement climatique accéléré actuel, qui selon certaines hypothèses pourraient provoquer, à terme, l'extinction d'un cinquième des espèces d'ici 50 à 100 ans (?), si elle continuait. Ce ne sont bien sûr que des projections [35][37].

(voir aussi sur ce sujet : <http://www.geopolis-fr.com/art28-extinction-masse.html>).

Des périodes de glaciations qui ont une influence sur notre planète

Une glaciation sévère, **Varanger**, se produit durant le **Cryogénien** (850-650 M.a.) : la banquise descend jusqu'à l'équateur produisant un état connu sous le nom de *terre boule de neige* (la mer aurait gelé sur une épaisseur moyenne de 2000 m). Le point de savoir si la banquise est réellement descendu jusqu'à l'équateur ou si une zone de mer libre y subsiste est quelque peu contesté [2] [6]. Puis, selon certains, l'impact de la météorite tombée à Acraman (lac d'), au sud de l'Australie, il y a 580 millions d'années, aurait participé ou contribué à l'explosion de la vie au Cambrien [6].

³ Les « trapps » sont les plus grands phénomènes effusifs qui ont lieu à la surface de la Terre, de plusieurs milliers de km², comparables par leurs dimensions aux mers basaltiques lunaires et aux vastes plaines volcaniques de Mars et de Vénus. On n'en recense qu'une dizaine de cas, sur la Terre, au cours des 300 derniers millions d'années (trapps de Sibérie, du Décan en Inde etc. ...) [11].

On estime, le début de la dernière « ère glacière », *celle dont on parle habituellement*, il y a environ 1,5 millions années, et sa fin, lors du retrait des grands glaciers, aux alentours de 9 600 av. J.-C (à ne pas confondre avec « petite ère glacière » qui s'abattit sur les Alpes de 1570 à 1650). A la « période glacière », il y a 800 000 ans, la terre s'est recouverte de glaces. Depuis la fin de la dernière **période glacière**, il y a environ 13000 ans, la terre s'est réchauffée de 4°C en moyenne. On parle aussi de « dernière période glacière », une période allant d'environ 80000 ans -20000 ans à 13000 - 10000 ans (selon la littérature). Selon équipe internationale de chercheurs, dont les résultats sont publiés dans la revue Science du 1er juillet 2005, les « coups de chaud » et les « coups de froid » de la dernière période glacière (entre - 80000 et - 13000), dépasseraient les 5 degrés (source : <http://www.humanite.presse.fr/journal/2005-07-07/2005-07-07-810101>).

3 Effet de serre

L'effet de serre est, à l'origine, un phénomène naturel ⁴. Il permet à la température de la basse atmosphère de se maintenir autour de 15°C en moyenne et conditionne le foisonnement de différentes formes de vie sur la Terre. Sans lui, la température moyenne de la surface de la Terre avoisinerait -18°C interdisant toute forme de vie [7].

L'azote et l'oxygène sont quasiment transparents au rayonnement infra-rouge. Ils ne sont pas impliqués dans l'effet de serre. La vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane, les chlorofluorocarbures (CFC), l'ozone, le dioxyde de soufre..., contribuent directement à l'effet de serre. L'influence de ces gaz est variable selon leur concentration dans l'atmosphère et leur structure moléculaire.

Les gaz à effet de serre d'origine naturelle sont : la vapeur d'eau (60 % de la contribution totale), le gaz carbonique (20 %), l'ozone de la troposphère, le protoxyde d'azote, le méthane et les CFC ⁵.

Les gaz responsables de l'effet de serre d'origine anthropique (humaine) sont le gaz carbonique (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), l'ozone troposphérique (O₃), les CFC et les HCFC, gaz de synthèse responsables de l'attaque de la couche d'ozone, ainsi que les substitués des CFC : HFC, PFC et SF₆. Les gaz à effet de serre sont naturellement très peu abondants ⁶.

1.1 **L'influence des éruptions volcaniques sur l'effet de serre**

Les éruptions volcaniques constituent des perturbations naturelles du système climatique. Lors d'une éruption, des millions de tonnes d'aérosols divers (poussière, composés soufrés) sont propulsés dans l'atmosphère (éruption du volcan Pinatubo, aux Philippines, en 1991, entraînant une baisse moyenne de la température de la planète entre 0,1 et 1°C).

Ces aérosols constituent un écran au rayonnement solaire à l'origine d'un refroidissement de la surface du sol. Un tel phénomène va donc limiter le réchauffement dû aux gaz à effet de serre pendant quelques années.

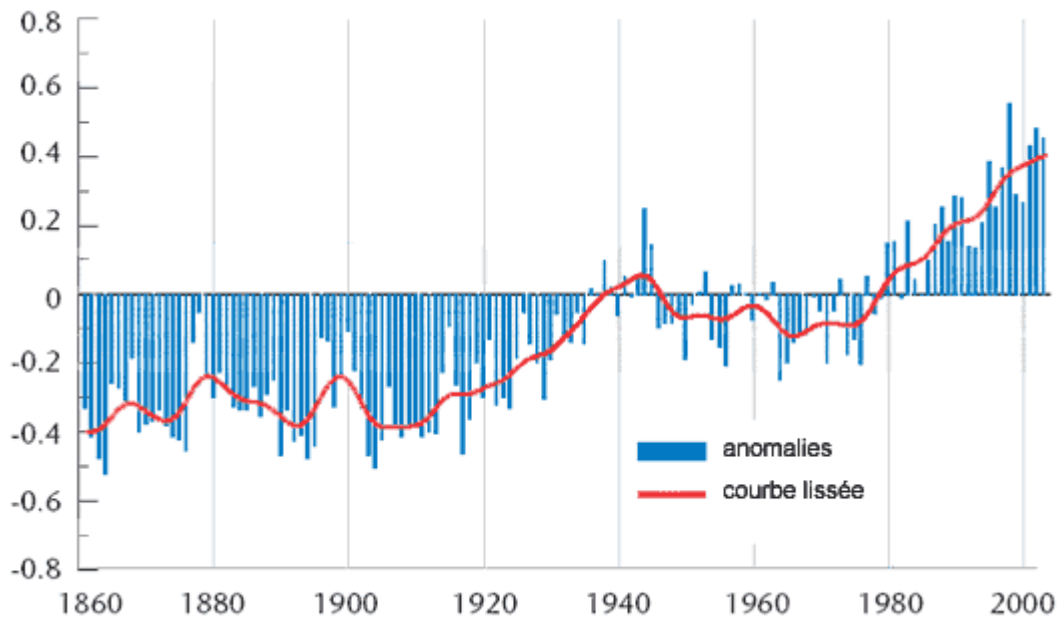
4 Le réchauffement planétaire

Toutes les stations météorologiques du monde constatent depuis le début du siècle une augmentation lente de la température (+ 0,5° à + 0,7° C depuis 1860).

⁴ Le phénomène d'effet de serre est lié à la présence dans l'atmosphère de certains gaz qui piègent le rayonnement émis par la Terre (infrarouge). Une partie de ce rayonnement est réémise en direction du sol, contribuant ainsi au réchauffement des basses couches de l'atmosphère.

⁵ Selon l'encyclopédie Wikipédia, Les contributions approximatives, sur Terre, à l'effet de serre, des principaux gaz à effet de serre seraient, pour la vapeur d'eau de 55%, pour le [dioxyde de carbone](#) de 39%, pour l'[ozone](#) de 2%, pour le [méthane](#) de 2%, pour [oxyde nitreux](#) de 2% [38] (voir l'article détaillé : [gaz à effet de serre](#) sur le même site de l'encyclopédie Wikipédia).

⁶ Composition de l'air sec : Azote (N₂) 78,09 %, Oxygène (O₂) 20,95 %, Dioxyde de carbone (CO₂) 0,035 %, etc. ... A l'état gazeux, la vapeur d'eau intervient dans des proportions pouvant atteindre 0,1% en Sibérie, à 5% dans les régions maritimes équatoriales.



Evolution des températures moyennes mondiales de 1861 à 2003 (~140 a). En ordonnée, se trouvent les écarts de températures en °C par rapport aux normales calculées pour la période 1961-1990. L'élévation de température depuis le début des années 1980 est notable tout comme les records des premières années du XXIème siècle [16] [18].

Un tel réchauffement se traduit, sur la même période, par une élévation de 10 à 20 cm du niveau moyen des océans par dilatation de l'eau et fonte des glaciers et calottes polaires. Parallèlement, les glaciers pyrénéens, alpins, andins, himalayens ... reculent ou disparaissent pour certains. Les calottes glacières reculent aussi [7]. La banquise arctique a reculé de plus de 20 % et a perdu 37000 km², en 30 ans (à comparer à une banquise estivale moyenne de 7 millions de km²) [14]. Ce qui a provoqué la diminution de 14 % de la population des ours polaires de l'arctique⁷. Les Territoires du Nord-Ouest du Canada et la Sibérie se sont réchauffés quatre fois plus que le reste de la planète [12]. Le recul de la banquise antarctique s'est nettement accéléré depuis 20 ans [15]. Depuis 2 ans, le réchauffement du Groenland a été spectaculaire : les chasseurs Inuits n'ont pu aller de tout l'hiver sur la banquise, sa glace étant pas assez épaisse pour supporter un traîneau ou un véhicule (mais trop épaisse pour la sortie en bateau), ce qui provoqué une grave crise économique chez les Inuits. De fait, depuis 2 ans, le gouvernement groenlandais a été obligé de subventionner ces chasseurs. Pour la première fois de leur vie, les Inuits de la baie de Disko (côte ouest du Groenland) ont eu de la pluie, fin mars 2005. Les neiges du Kilimanjaro ont perdu près de 85% de leur surface, passant de 13 km² en 1910, à 2 km² en 2005 [45]. Le réchauffement moyen dans le Sud-Ouest de la France, est de 1,6°C pour les températures du matin et de +1,2°C pour les températures de l'après midi, selon Météo France [7]. Depuis 1960 la température de l'eau de mer a augmenté de 0.5° C provoquant une chute de la production des oeufs de poissons [45]. On trouve maintenant des diatomées, provenant de mers plus chaudes, depuis 2 à 3 ans, au large des côtes de l'Alaska, ce qui ne s'était jamais vu avant.

1.2 L'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère

La concentration du gaz carbonique est passée de 280 ppmv (parties par million en volume) au début de l'ère industrielle à 354 ppmv en 1990. Cet accroissement est dû aux activités humaines avec notamment la combustion de carbone fossile (charbon, gaz naturel, pétrole). Un habitant de pays développé rejette 5 tonnes de CO₂ par an. Un habitant de pays en développement rejette 400 kg de CO₂ par an.

L'océan est un régulateur de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère grâce à sa grande capacité à le dissoudre. Mais le déséquilibre observé est dû à la lenteur des processus d'absorption naturels par rapport à la vitesse d'émission du gaz carbonique par les activités humaines.

⁷ Selon, Kert Avis, responsable communication de Greenpeace.

La biosphère (biomasse) terrestre échange avec l'atmosphère une importante quantité de gaz carbonique. Cet échange permet de recycler une partie du gaz carbonique émis dans l'atmosphère. La déforestation massive dans certaines parties du globe, et plus précisément les incendies allumés pour détruire la forêt, contribue à augmenter l'émission de gaz carbonique et à augmenter les épisodes de sécheresse locale, en réduisant « l'évapotranspiration » source de précipitation (voir article « Evapotranspiration » en encadré, à la fin de cet article).

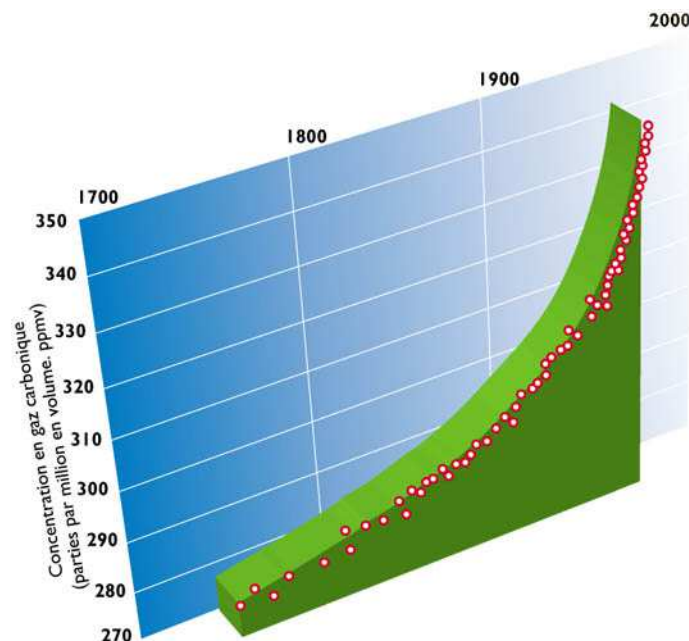
En résumé, la production de gaz carbonique excède la capacité d'absorption de la nature (22 milliard de tonnes de CO₂ produites par l'industrie, 7 milliard de tonnes de CO₂ produites par la déforestation excède les 18 milliards de tonnes absorbés par la végétation et les océans). D'ici 2050, on prévoit un doublement de la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère par rapport au début de l'ère industrielle.

1.3 Le cas "El Niño"

"El Niño" est un phénomène qui apparaît généralement vers l'époque de Noël le long des côtes sud-américaines du Pacifique. Il se produit avec plus ou moins d'intensité tous les 3 ou 5 ans. Du fait d'un déplacement de l'équateur météorologique, les alizés s'inversent et la température de la mer s'élève de plusieurs degrés. Ce phénomène s'étend en fait à tout le Pacifique tropical et intéresse tant l'océan que l'atmosphère.

Lors d'une année "El Niño", les zones de formation des cyclones se déplacent, les cyclones varient en intensité, les centres d'action (anticyclones et dépressions saisonniers) se décalent. L'ensemble de la planète est concerné (sécheresse ou inondations). L'équilibre écologique est bouleversé.

Il semblerait que les épisodes "El Niño" s'accroissent actuellement.



Variation de la concentration de gaz carbonique dans l'air depuis 1700 [7].

5 Les preuves de l'influence de l'homme sur le réchauffement du climat

La preuve du réchauffement repose sur deux éléments-clé :

- 1- Les bulles d'air qui se sont formées dans les calottes glaciaires. Tous les secrets du CO₂, le principal gaz à effet de serre, y sont enfouis.
- 2- Les foraminifères⁸. Grâce à ces petits organismes marins, on peut connaître les climats d'autrefois, car ils sont d'excellents indicateurs de la température et de la salinité des océans.

⁸ La composition du squelette des foraminifères est directement fonction de la température et de la salinité des eaux dans lesquelles ces organismes, ces êtres vivants ont vécu.

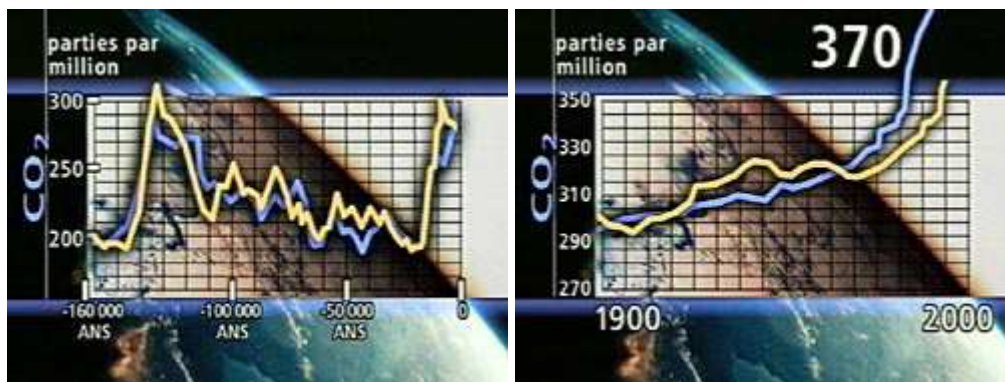
Les carottes prélevées à différentes profondeurs dans les sédiments marins, pour étudier les foraminifères, permettent de reconstituer plus de 100 000 ans d'histoire de la circulation de l'Atlantique-Nord [12].

Le célèbre forage de carotte de glace, à la station de Vostok en Antarctique a permis de remonter à 420000 ans. Le dernier forage actuellement réalisé à la station de Dôme C, toujours en Antarctique, d'une profondeur de 3190 mètres, permettrait de remonter jusqu'à 740000 ans [13].

En 1985, les foreurs russes parviennent à extraire des carottes de glace jusqu'à un kilomètre de profondeur. Publiées en 1987, leur analyse réalisée à Grenoble et à Saclay par les équipes de Dominique RAYNAUD et Jean JOUZEL, démontre que, depuis cent mille ans, il existe une corrélation étroite entre températures moyennes et teneurs en gaz à effet de serre. En 1999, la démonstration s'est étendue aux 400 000 dernières années. Sur cette période, jamais la teneur en gaz à effet de serre n'a atteint les valeurs actuelles, dues à la pollution. Enfin, en 2004 confirmation a été apportée sur une période de 740 000 ans (article du CNRS sur les études des carottes de glace [13]).

On observe la même tendance pour beaucoup d'autres gaz à effet de serre. Les niveaux de méthane ont triplé depuis 1750, l'oxyde d'azote a augmenté de 17 % et l'ozone de l'atmosphère basse (la troposphère) de plus d'un tiers [21].

Depuis 160000 ans, le CO₂ a varié souvent. Mais jamais, jusqu'à tout récemment, il n'a dépassé une concentration supérieure à 300 parties par millions. A l'arrivée du XXe siècle, le CO₂ augmente progressivement pour atteindre 370 ppm. Quand le CO₂ augmente, les températures font de même.



Les variations du CO₂ depuis 160 000 ans...

...et depuis 1900 [12].

Selon qu'il est produit par la respiration des organismes vivants (C¹³) ou par la combustion du pétrole (C¹²), du charbon (C¹²), le type de carbone qui entre dans la composition du CO₂ n'est pas le même. On note que depuis 200 ans, y a une augmentation en carbone 12 dans l'atmosphère et moins de carbone 13 dans l'atmosphère.

Pour Ian Clark, Professeur d'Hydrogéologie isotopique et de paléoclimatologie (Département des Sciences de la Terre Université d'Ottawa) « Les grands scientifiques croient maintenant qu'au moins la moitié du réchauffement climatique qu'on vit actuellement, qui a été mesuré, est dû à l'augmentation en CO₂ et en méthane » [12].

Jamais, dans l'histoire, l'élevage des ruminants n'a été aussi important. Et jamais il n'y a eu autant de méthane dans l'air. L'agriculture moderne utilise des quantités toujours plus grandes d'engrais azotés, dont la décomposition produit toujours plus de protoxyde d'azote. En moyenne, les concentrations de CO₂, méthane et de protoxyde d'azote ont augmenté, respectivement, de 30 %, 150 % et 17 % entre 1750 et 2000 [27].

6 La production actuelle de CO₂ par l'homme

En '90, l'humanité produisait six milliards de tonnes de CO₂, une tonne par être humain. La moitié de ce gaz, trois milliards de tonnes, est recyclée dans la biomasse des océans. Celle qui reste dans l'atmosphère doit donc être éliminée.

Un tiers du CO₂ rejeté vient du transport, 1/3 des industries et 1/3 des élevages.

Vers 1990 les contributions respectives de ces gaz à l'effet de serre total étaient approximativement :

Gaz carbonique	48 %
Méthane	17 %
CFC	18 %
Protoxyde d'azote	6 %
Ozone et autres	11 %

L'industrie a créé un certains nombres de gaz à effet de serre puissants et à durée de vie longue pour des utilisations spécialisées. Mis au point dans les années 20, les chlorofluorocarbones (CFC) ont été utilisés comme agents dispersants d'aérosols, la fabrication de mousses plastiques pour les coussins et autres produits, les circuits de refroidissement des réfrigérateurs et climatiseurs et en tant qu'agents d'extinction et que solvants pour nettoyage.

7 Le cas des Etats-Unis, les plus grands pollueurs du monde et du Canada

Les Etats-Unis rejettent dans l'atmosphère près d'un quart du total mondial des émissions de gaz carbonique, alors qu'ils représentent moins de 5 de la population du globe.

États-Unis (5 % de la population mondiale, 20 % des émissions)	20,52
Canada	14,83
Russie	12,26
Allemagne	10,24
Royaume-Uni	9,29
Chine	2,68

Tonnes de dioxyde de carbone (CO₂) par habitant en 1995 [10].

Aux USA et Canada, les voitures d'aujourd'hui (en 2005) brûlent 13% plus d'essence que celle de 1986, à kilométrage égal [12].

Un Canadien moyen, en 1990, produisait vingt tonnes de CO₂. Quatre fois plus qu'un Européen. Le Canada avions promis de baisser à 18 tonnes et trois-quarts d'ici 2010 mais jusqu'ici, au contraire, en 2005, ce taux au Canada a augmenté à 23 tonnes par personne [12].

8 Ce que prévoient pour l'avenir, les simulations informatiques en France et à l'étranger

1.4 L'augmentation de la température et du niveau des océans

Selon le scénario qui représente la solution la plus plausible, la concentration en gaz carbonique doublerait d'ici l'an 2050, atteignant 690 ppmv (parties par million en volume).

Les résultats des simulations obtenues à partir des différents modèles de climat (français _ de Météo France ... _ ou étrangers) montrent une augmentation de la température moyenne à la surface terrestre de 1,5 à 4°C ainsi que des variations du régime des pluies. Ces valeurs moyennes cachent des disparités importantes selon les régions.

On assisterait à une élévation sensible du niveau moyen des océans (+20 à +60 cm en 2050 suivant les simulations). L'enneigement dans les Alpes et les Pyrénées serait affecté, principalement en moyenne montagne.

On prévoirait une augmentation du nombre et de la force des épisodes climatiques excessifs ou catastrophiques : cyclones et violentes tempêtes, pluies torrentielles, inondations, sécheresses ... dont une extension de la zone des moussons et une augmentation de la sécheresse dans les zones subtropicales sèches.

De nombreux pays en voie de développement (par exemple le Bengladesh) risquent de se trouver dans des situations catastrophiques. Certains pourraient même être rayés de la carte du monde, comme les Maldives. Le réchauffement de l'eau de mer aura aussi un impact certain sur les écosystèmes marins - on craint par exemple dans un avenir proche la disparition presque totale de la Grande Barrière de corail [10] [19].

Tous les résultats des simulations obtenues sur l'évolution du climat futur sont à mettre au conditionnel. En effet, le rôle des océans et des nuages demeure mal connu ce qui limite l'interprétation des résultats.

De plus, les divers scénarios d'évolution du taux de rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont eux-mêmes basés sur une estimation des futurs besoins en énergie d'une population terrestre en pleine explosion démographique.

Dans un rapport publié en 1995, le Groupe international d'étude du changement climatique prévoit une élévation moyenne de la température comprise entre 1,5 et 3,5° durant les cent prochaines années.

Mais ces prévisions peuvent sembler optimistes, car de nouvelles estimations prévoient même une augmentation allant de 4 à 8°.

Il s'agit de moyennes, et même de doubles moyennes, car considérées à la fois sur une année complète, toutes saisons incluses, et sur l'ensemble de la surface terrestre, d'un pôle à l'autre en passant par les régions équatoriales. Localement, les différences seraient bien plus accentuées. *Un exemple suffit pour bien faire comprendre l'ampleur du phénomène : lors de la dernière glaciation, dite de Würm, il y a environ 11 000 ans, la plus grande partie de l'Europe était recouverte par les glaces. Les territoires qui allaient devenir la France, la Belgique, la Hollande, ressemblaient à de gigantesques icebergs. Et pourtant, lors de cette période, la température moyenne de l'atmosphère n'était inférieure que de 4 à 5°C à celle que nous connaissons aujourd'hui.*

Avec ses étudiants du département des sciences atmosphériques et océaniques de L'Université McGill, Charles Lin teste toutes sortes de données avec ses modèles informatiques. Selon Charles Lin « *Le réchauffement n'est pas uniforme. Par exemple, les zones polaires se réchauffent beaucoup plus par rapport au reste de la Planète.* »⁹ ... « *Si on change le moyenne des températures par un tout petit peu, par exemple 1 degré-1,5 degré peut-être, ça ne semble pas beaucoup. Mais pour les événements extrêmes, ça peut représenter un changement très, très important. Ça pourrait doubler la fréquence des événements extrêmes: de une tempête chaque 15 ans, par exemple, à deux tempêtes dans le même laps de temps. L'effet est magnifié.* »

1.5 L'ozone

L'ozone est un gaz utile dans la basse stratosphère (vers 20 km d'altitude) pour filtrer les rayonnements ultraviolets nocifs pour la vie. On le trouve également dans la basse atmosphère où il représente un danger pour l'homme. Ce gaz contribue à l'augmentation de l'effet de serre. Depuis quelques décennies, la mise en évidence d'un "trou d'ozone" dans la stratosphère, à la verticale des pôles, inquiète les scientifiques.

L'augmentation de l'effet de serre se traduirait par un refroidissement de la stratosphère, entraînant :

- > d'une part une diminution de la destruction naturelle de l'ozone,
- > d'autre part, un surcroît de nuages glacés polaires, qui contribuent à la destruction de l'ozone [7].

1.6 La circulation des courants océaniques

Les océans ont un rôle déterminant sur la stabilité du climat.

On sait maintenant que l'océan Atlantique a une influence considérable sur le climat de la terre. Beaucoup plus que El Nino.

Car c'est dans l'Atlantique Nord que se produit le plus grand brassage de courants qui, par la suite, vont distribuer la chaleur partout autour du globe.

Le point de départ de cette grande boucle océanique se situe dans l'Atlantique Nord, à proximité du Groenland. A cette latitude, l'eau très froide et très salée, atteint une telle densité qu'elle se met à plonger jusqu'à 3,000 mètres de profondeur. Cette plongée, c'est le moteur de la grande boucle.

⁹ Ce que corroborent d'ailleurs les observations actuelles (voir plus haut).



La grande boucle océanique [12].

Parvenue au fond de l'océan, cette eau très froide se dirige vers le sud Atlantique, l'océan Indien et le Pacifique où elles se réchauffent. Puis, elle remonte vers la surface pour revenir vers l'Atlantique former le courant chaud du Gulf Stream. Situé à mi-chemin entre le Canada et la France, ce courant libère dans l'atmosphère une quantité considérable de chaleur. Les vents glacials venus du Canada et de l'Arctique, s'y réchauffent et vont augmenter la température de l'Europe occidentale d'environ 5 à 10 degrés Celsius, par rapport aux régions de même latitude, en Amérique. La grande boucle met 1500 ans à faire le tour du globe.

Ce long circuit possède toutefois un véritable talon d'Achille: la densité de l'eau. Or, réchauffement signifie fonte des glaces, apport d'eau douce, diminution de la salinité. Tout ça diminue la densité de l'eau. Sans sa densité exceptionnelle à proximité du Groenland, l'eau ne peut plonger vers les profondeurs. Le moteur de la grande boucle risque d'arrêter, ce qui inquiète les chercheurs.



Le moteur de cette grande boucle qui réchauffe l'Europe pourrait s'arrêter si la température se réchauffe [12].

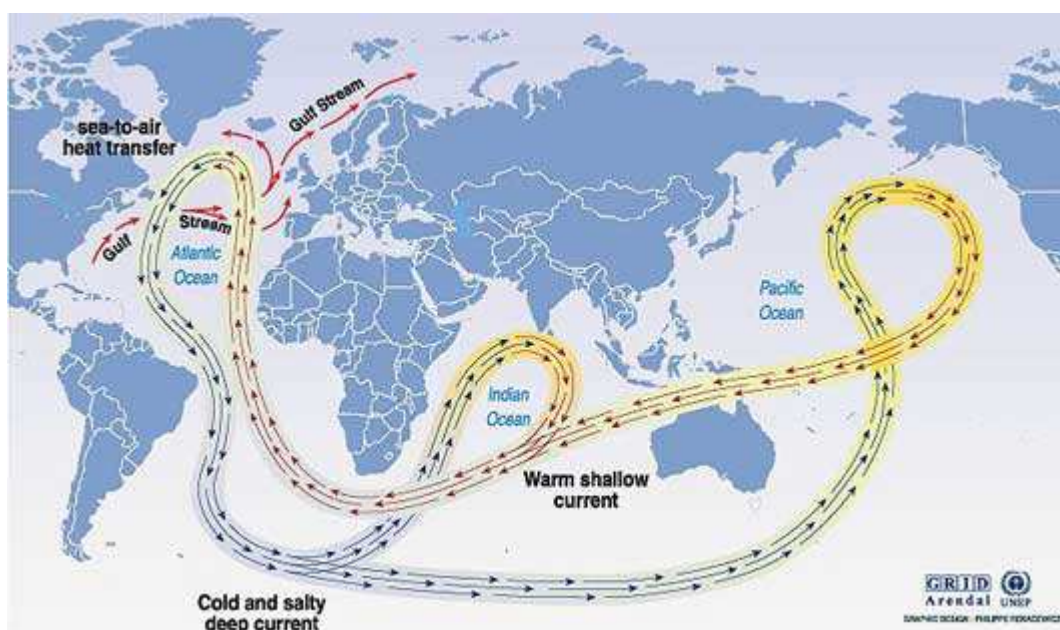
Claude Hillaire-Marcel, océanologue, explique qu'il suffit d'une très, très faible variation de densité de l'eau, quelques dixièmes pour mille, pour que soit modifié le mode de circulation de l'océan. « Quelques degrés peuvent amener de grandes conséquences en terme d'apport d'eau douce à partir de la fonte des calottes glaciaires, par exemple, ce qui irait modifier quasi immédiatement la salinité de l'Atlantique Nord. Et si l'on modifie la salinité dans les eaux de surface de l'Atlantique Nord, on peut affecter de façon extrêmement brutale l'ensemble de la circulation océanique. L'ennui, c'est qu'on ne connaît pas tout à fait les conséquences que pourrait avoir un changement, c'est-à-dire on ne sait pas exactement pas quoi sera remplacé le mode de circulation actuel et où sera distribuée la chaleur. ».

Depuis 1993, les chercheurs du groupe "Climat" du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) ont découverts des changements climatiques abrupts au cours de la dernière période glaciaire, en particulier dans le secteur Atlantique nord/Europe, et ont très largement contribué à mettre en évidence ces variations rapides de la température de l'air en Europe de l'Ouest comme au Groenland, associées à des changements de circulation océanique dans l'Atlantique nord. Par l'analyse d'archives océaniques, glaciaires et continentales, le LSCE a permis de dater ces accidents brutaux, de montrer leur extension géographique et de montrer qu'ils peuvent se développer

en des temps comparables à ceux d'une vie humaine ¹⁰. Les mécanismes responsables de ces accidents font intervenir la sensibilité de la circulation océanique dans l'Atlantique nord à un apport accru d'eau douce, provenant en période glaciaire de la fonte des calottes [30].

Chaque coup de froid brutal au Groenland est associé à une réorganisation profonde du cycle hydrologique aux moyennes latitudes de tout l'hémisphère nord, de variations de la couverture végétale sur les continents et d'un réchauffement en Antarctique et dans l'océan Austral. Ces échanges océaniques auraient été modifiés, vers 12 500.

Le volume des eaux de l'Atlantique qui pénètrent dans l'océan Arctique a augmenté ces dernières années, la température des eaux profondes de la mer de Norvège a augmenté, tandis que certains éléments indiquent une évolution du débordement à la crête sous-marine Islande-Ecosse, une montagne sous-marine. Le bilan annuel du CIEM sur l'état du climat des océans signale des températures relativement élevées dans l'Atlantique nord pendant les années 1990. Dans la plupart des zones, on constate une tendance au réchauffement, en dépit du fait que la température ait baissé dans l'Atlantique nord sub-polaire, entre le Groenland et l'Islande (Read et Gould, 1992) [30].



Parcours de la circulation thermohaline ¹¹ [31].

1.7 L'oscillation Nord-Atlantique (ONA)

L'oscillation nord-atlantique (ou North Atlantic Oscillation en anglais, d'où le sigle NAO), c'est un phénomène atmosphérique et océanique, affectant principalement l'Atlantique nord, des côtes américaines à l'Europe.

On parle d'oscillation parce qu'il y a un va-et-vient, dans la direction nord-sud, d'air au-dessus des régions arctiques et islandaises vers la ceinture subtropicale près des Açores et de la péninsule ibérique. Ce va-et-vient de masses d'air a des influences sur le climat (températures, précipitations) tout autour du bassin atlantique, et tout particulièrement sur l'Europe.

L'oscillation nord-atlantique est une part importante des études sur le changement du climat. Ces dernières années ont montré une forte tendance à des phases positives persistantes de la NAO, et nous ne savons vraiment pas pourquoi. Il se peut que cela soit dû simplement à la variabilité naturelle

¹⁰ Une succession de réchauffements brutaux (se développant en environ soixante-dix ans) et persistant pendant quelques siècles, suivis d'une phase de refroidissement progressif s'étalant sur plusieurs millénaires et culminant par un coup de froid brutal [30].

¹¹ En profondeur, les masses d'eau se déplacent sous l'effet de variations de densité dues aux modifications de la température et de la salinité en surface. Cette circulation des courants profonds est appelée circulation thermohaline.

du climat, mais aussi que la NAO (et d'autres variations naturelles du climat) soit sensible au réchauffement global. Nous la citons, juste pour mention.

1.8 L'augmentation du CO2 atmosphérique et la diminution des puits de carbone

1.8.1 La contribution de la déforestation de la planète à l'augmentation du CO2 atmosphérique

Les forêts couvrent près de 4 milliards d'hectares soit 30% de la superficie émergée de la planète, mais les deux tiers des forêts sont concentrées dans seulement 10 pays: Fédération de [Russie](#) (809 millions d'hectares), Brésil (576), Canada (310), [Etats-Unis](#) d'Amérique (303), [Chine](#) (197), Australie (164), République démocratique du Congo (134), [Indonésie](#) (88), Pérou (69) et [Inde](#) (68).

Un rapport publié, en novembre 2005, par la FAO (Organisation des Nations unies pour l'agriculture et l'alimentation) passe au crible les ressources forestières de 229 pays et territoires de 1990 à 2005. Les forêts s'étendent actuellement sur près de 4 milliards d'hectares, soit 30% de la superficie émergée de la planète, ce qui équivaut à une moyenne de 0,64 hectare par habitant.

"La déforestation, essentiellement la conversion des forêts en terres agricoles, se poursuit à un rythme alarmant et fait disparaître environ 13 millions d'hectares par an", souligne le rapport. Mais "en même temps, la plantation des forêts, leur extension naturelle et la réhabilitation des paysages ont réduit de façon significative la perte nette de superficie forestière".

Au final, le solde entre les destructions et les reboisements s'est traduit par une perte "nette" de superficie forestière de 7,3 millions d'hectares par an durant la période 2000-2005.

L'Amérique du Sud et l'Afrique ont respectivement perdu 4,3 millions et 4 millions d'hectares de forêt, chaque année, entre 2000 et 2005. L'Asie est la seule région à enregistrer un "gain net de forêts" durant cette période (Source FAO / S&T Presse) [48].

Or les grands forêts primaires menacées, en particulier tropicales, contribuent l'absorption d'une partie du CO2 atmosphérique. Une forêt est intéressant puit de carbone pendant sa croissance. A maturité, le bilan est équilibré, les rejets en CO2 de la décomposition des bois morts sont équivalents à l'absorption par la photosynthèse. De toute façon tant que la déforestation est plus importante que la reforestation le bilan est négatif. Or le problème de la déforestation à grande échelle est planétaire. En réalité, la couche supérieure du sol représente un gros stock de carbone. Avec le réchauffement, l'activité de décomposition bactérienne va augmenter. Or cette activité dégage [du méthane et du CO2](#) qui vont venir alourdir le bilan actuel. Les [modèles scientifiques](#) montrent que si le sol se met à déstocker le carbone, le réchauffement risque de quasi doubler [46][47].

1.8.2 La diminution de l'absorption du CO2 par les océans, en raison de leurs réchauffements

Les océans (en tant que puit de carbone _ voir l'article encadré « Les puits de carbone » en fin de ce document) participent à l'absorption d'une partie du CO2 atmosphérique dans l'océan, par dilution de celui-ci par l'eau et par la constitution de carbonates et bicarbonates dissous dans l'eau ou « précipités » (craies, calcaire, les carbonates étant les constituants majeurs des récifs coralliens ...). La capacité d'absorption de l'océan augmente en fonction de la teneur en CO2 de l'atmosphère. Mais les changements de températures risquent de perturber les courants marins voire de "stratifier" les océans en couches qui ne se mélangent plus. Or l'essentiel de la capture du CO2 dans l'océan se passe au niveau de l'océan profond (c'est surtout la décomposition de la biomasse marine). L'océan de surface risque alors de saturer et le puit "océanique" cesser de fonctionner [46][47].

9 En conclusion, causes et conséquences possibles de l'effet de serre sur le climat

Pour beaucoup de scientifiques, variabilité, surprises climatiques, événements extrêmes seront, sans aucun doute, parmi les préoccupations majeures au XXIe siècle.

Les points suivants semblent assez bien acquis pour le 21° siècle :

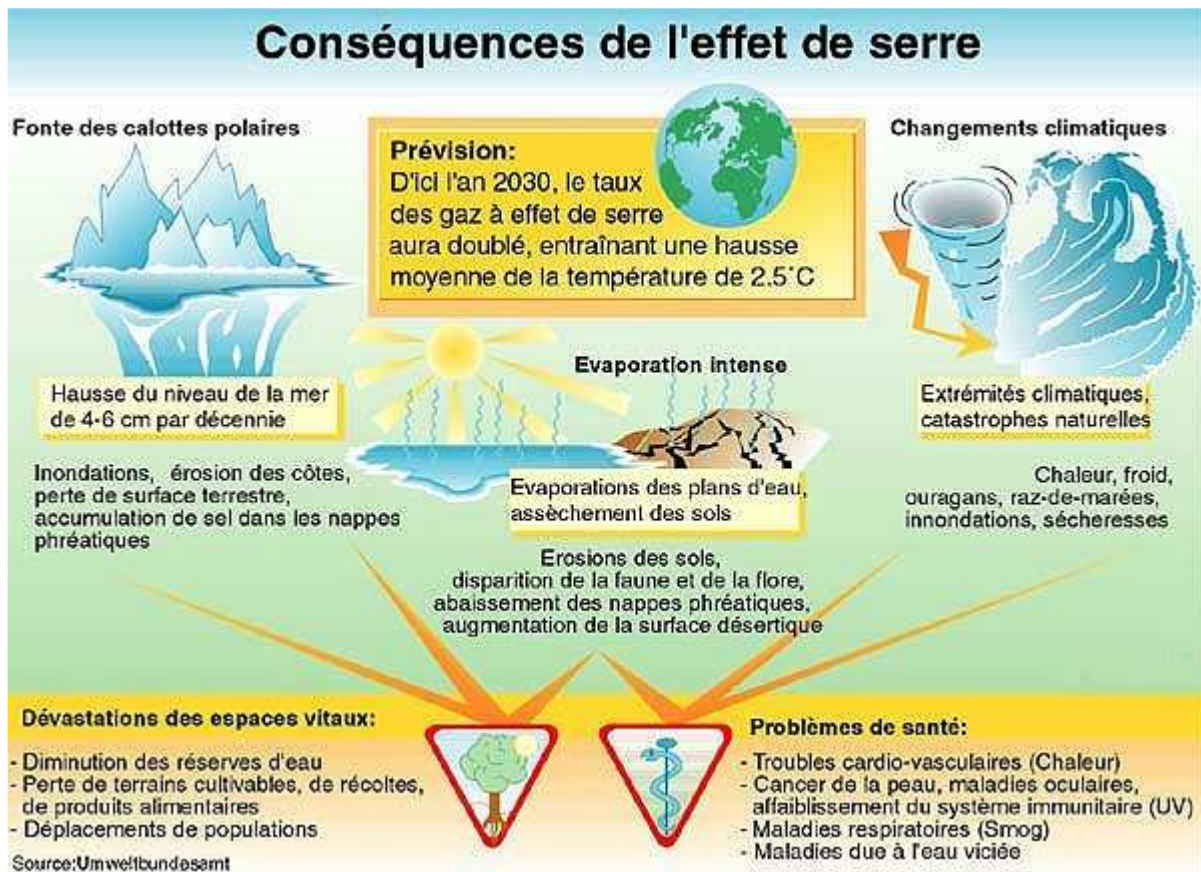
- 10 Réchauffement plus important sur les continents que sur les océans.
- 11 Réchauffement maximal aux hautes latitudes.

- 12 dégel du permafrost (qui a une influence sur le climat), recul des glaciers et des calottes glacières¹².
- 13 Les précipitations augmenteront surtout aux latitudes hautes et moyennes.
- 14 Augmentation de l'évaporation et de l'humidité au-dessus des mers tropicales .
- 15 Extension de la zone des moussons.
- 16 Les zones subtropicales sèches le deviendraient encore plus.
- 17 Des zones de cultures, en régions tempérées, deviendront plus sèches et moins productives.
- 18 Pays plats noyés par la montée des eaux (Bengladesh, Maldives ...). Les zones côtières basses et les marais seront alors particulièrement exposés aux inondations.

L'IPCC, un organisme qui regroupe les experts de 116 pays, a défini le seuil critique de CO₂, environ 700 parties par million, où le climat risque vraiment de basculer. C'est le double de la concentration actuelle 370 ppm. Si on continue de polluer comme on le fait maintenant, ce seuil serait atteint dans 100 ans. Cette augmentation de CO₂ provoquerait un réchauffement de température de 2 degrés Celsius.

Pour Jean Jouzel, membre du comité de rédaction des rapports de l'IPCC : « [...] Deux degrés, ça serait difficile. Trois degrés et demi, c'est vraiment quelque chose qui serait une catastrophe au niveau global ».

On peut aussi prévoir la remontée à nos latitudes, des maladies tropicales (paludisme, Virus du Nil occidental ...), de certains insectes du sud vers le nord et d'insectes africains en France (criquets pèlerins etc. ...).



Conséquences possibles ou prévisibles de l'effet de serre [24].

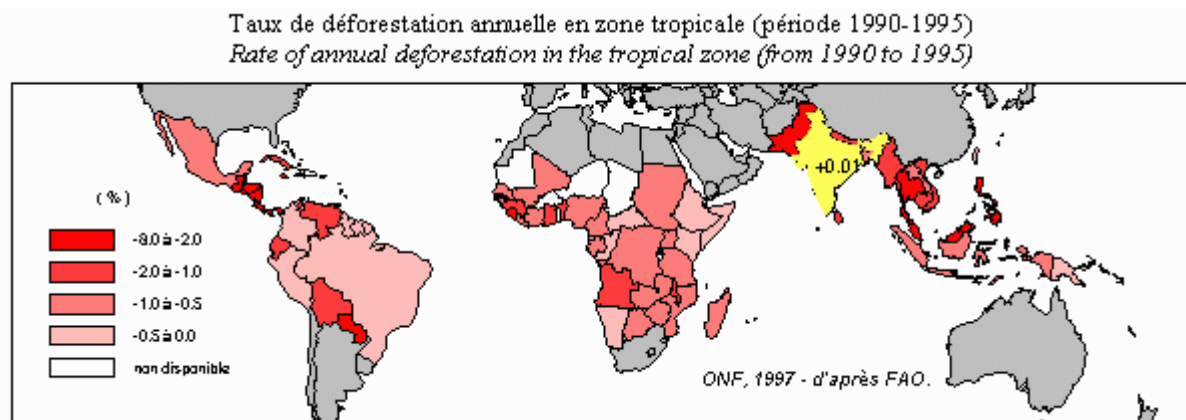
19 La prévention du phénomène et les solutions

Les pistes pour réduire les gaz à effet de serre :

¹² le recul des glaciers tropicaux ou équatoriaux (Andes, Afrique de l'Est, Himalaya, Pamir ...) _ glaciers qui eux-même influent sur le climat local _ entraîneront plus de sècheresses dans ces régions tropicales ou équatoriales.

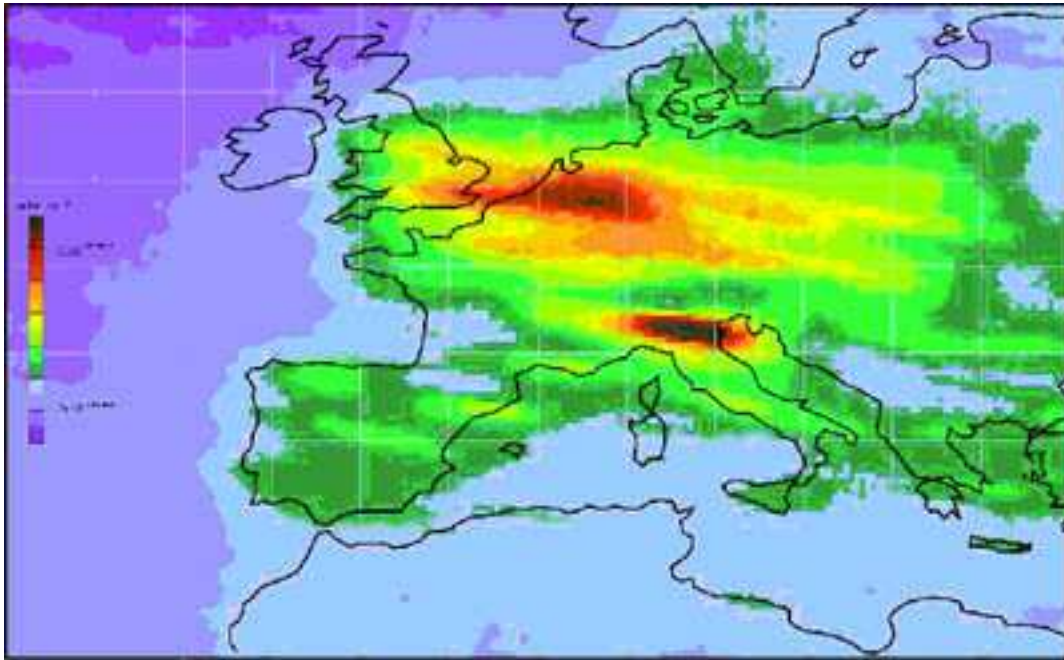
- 1) fabriquer des voitures beaucoup moins gourmandes, comme les voitures hybrides (telles la Prius de Toyota), consommant trois fois moins d'essence qu'une auto ordinaire.
- 2) utiliser les essences « vertes », enrichies avec de l'éthanol (fabriquées à partir des plantes: betteraves, canne à sucre, du maïs, du blé ou, mieux, de simples déchets de bois ...) ou des huiles végétales (colza, tournesol ...). Or les arbres et ces plantes, pendant leur croissance, ont pris du CO₂ dans l'air. En brûlant l'éthanol ou d'autres carburants naturels, on ne fait que retourner le CO₂ là où les plantes l'avaient pris. Cela n'augmente ainsi pas vraiment l'effet de serre.
- 3) utiliser les biogaz (produits par les animaux ...) comme le méthane. En effet, le méthane a 21 fois plus d'effet, en **potentiel d'effet de serre**, que le CO₂.
- 4) utiliser les énergies renouvelables : l'éolien _ le Danemark produit déjà à peu près 6% de son énergie l'éolien en 2005 _, le solaire, le bois ...
- 5) utiliser l'énergie nucléaire,
- 6) Réduire la déforestation ¹³.

Suite à la prise de conscience concernant les conséquences du réchauffement global, les pays du globe ont organisé plusieurs colloques et conférences, à Genève en 1979, à Montréal en 1987, à Rio en 1992, à Kyoto en 1997, à Johannesburg en 2002, pour se pencher sur le problème et le résoudre. On a cherché à trouver des solutions pour la réduction des gaz à effet de serre et à estimer le coût, pour l'économie, de cette réduction.



[25]

¹³ Selon Yannick Jadot, directeur des campagnes à Greenpeace : « Les forêts primaires représentent 80 % de la biodiversité des terres émergées. Or, à ce rythme, elles auront disparu en Afrique dans 10 ans, en Asie du Sud-Est dans 15 ans et en Amazonie dans 40 ans maximum » [28].



La signature de l'activité industrielle d'humanité est tout trop visible dans notre atmosphère. Dans ce cas, la production NO₂ est très évidente sur les centres industrialisés de la Grande-Bretagne du Sud, la Belgique, l'Allemagne et l'Italie du Nord (10 décembre 2001. Crédits : IUB/ESA 2001) [22].

20 Le coût de la réduction du CO₂

D'après un rapport du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC _ voir plus loin définition du GIEC dans la partie Bibliographie de ce document), on estimerait possible une limitation de l'augmentation des rejets de gaz à effet de serre. Une telle action coûterait de 0,2 à 2 % de leur PIB aux pays de l'OCDE. L'économie mondiale sera touchée, mais l'économie souffrirait plus si rien est fait. Tous les catastrophes naturelles qui en suivront pourraient provoquer beaucoup de problèmes qui risquent d'être beaucoup plus graves.

Enfin, de façon globale, d'après le second rapport du GIEC, le coût des dommages liés à une augmentation de la température de 2,5°C, est estimé à 1,5 à 2 % du PIB mondial. Ce coût se décline en 1- 1,5 % du PIB pour les pays développés et il pourrait être très supérieur à 2 % pour les pays en développement (Source : *Mission Interministérielle de l'Effet de serre*) [9].

L'équipe de Richard Loulou, de l'université de Montréal, a utilisé la simulation par ordinateur. Elle a cherché la stratégie la moins coûteuse pour respecter nos engagements de Kyoto et pour réduire ensuite nos émissions d'un autre 20% d'ici 40 ans.

Selon Richard Loulou: « Cette somme s'évalue d'après nos modèles, si tout se passe bien, à environ une centaine de dollars par citoyen nord-américain, chaque année. Pour une famille de quatre, c'est \$400 par an, à perpétuité. C'est comparable à une assurance de voiture... » ... bien qu'il y aurait des disparités sur ce coût, selon les régions et les sources d'énergies locales disponibles. Selon certaines régions, ce coût pourrait s'élever à plus de 400 \$ par personnes [12].

21 Conférence de Genève sur le Climat en 1979

La première conférence mondiale sur le climat a été organisée, en 1979, à Genève par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Dans la foulée, un programme conjoint de recherche sera alors engagé en partenariat avec le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) et le Conseil des Unions Scientifiques Internationales (ICSU) et coordonné par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC).

22 Le protocole de Montréal de 1987

L' Objectifs du protocole de Montréal est de prescrire des mesures de précaution pour réglementer équitablement et éventuellement éliminer toutes les émissions mondiales de substances, appauvrissant la couche d'ozone (SACO) _ en particulier les CFC __, qui, dans la stratosphère, nous protège des ultra-violets et des cancers de la peau. Les Parties (pays signataires) se sont engagées à éliminer graduellement la production et la consommation de SACO ainsi que réduire et cesser le commerce de ces substances, au cours des prochaines décennies.

Le Protocole de Montréal de 1987 est en vigueur, au niveau international, depuis le 1er janvier 1989. Il n'avait pas pour but de réduire l'émission de gaz à effet de serre, mais on pouvait en attendre des conséquences positives, avec l'application de ce protocole.

23 Le Sommet de la Terre à Rio en 1992

Le Sommet de la Terre, à Rio en 1992, a marqué la prise de conscience internationale du risque de changement climatique. Les états les plus riches, pour lesquels une baisse de croissance semblait plus supportable et qui étaient en outre responsables des émissions les plus importantes, y avaient pris l'engagement de stabiliser en 2000 leurs émissions au niveau de 1990.

Le premier rapport du GIEC publié en 1990 a joué un rôle déterminant dans la genèse de la Convention Cadre sur les Changements Climatiques signée à Rio en 1992. Ratifiée par 188 pays et entrée en vigueur en mars 1994, cette convention cadre reconnaît l'existence du changement climatique d'origine humaine et impose aux pays industrialisés de lutter contre ce phénomène. Elle fixe un objectif ultime : la stabilisation des « concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ».

24 Le protocole de Kyoto de 1997

En mars 2001, 37 nations se sont réunies à [Kyoto](#) pour entériner les décisions prises lors des conférences antérieures sur le réchauffement global et la réduction des émissions des gaz à effet de serre. Le but de cette réunion était de ratifier une réduction de 8% de six gaz à effet de serre d'ici 2008-2012. Reprenant les principes énoncés par la Convention de Rio de 1992, le protocole de Kyoto l'enrichit en y ajoutant des engagements quantifiés et juridiquement contraignants de réduction ou de limitation des émissions de gaz à effet de serre. Chaque pays doit atteindre un objectif national précis.

Objectifs fixés à la conférence de Kyoto de 2001	
Réduction (-) ou Augmentation (+) des émissions des gaz à effet de serre [45]	
+10%	Islande
+8%	Australie
+1%	Norvège
0%	Nouvelle Zélande, Russie, Ukraine
-5%	Croatie
-6%	Japon, Canada, Hongrie, Pologne
-7%	Etats-Unis
-8%	Europe, Bulgarie, Tchéquie, Estonie, Lettonie, Liechtenstein, Lituanie, Monaco, Roumanie, Slovaquie, Slovénie, Suisse

Le protocole de Kyoto [26] s'attaque aux émissions des six principaux gaz à effet de serre :

1. le dioxyde de carbone (CO₂);
2. le méthane (CH₄);
3. l'oxyde nitreux (N₂O);
4. l'hydrofluorocarbones (HFCs);
5. l'hydrocarbure perfluorés (PFCs);
6. l'hexafluorure de soufre (SF₆).

Pour atteindre ces objectifs, le protocole propose une série de moyens:

- renforcer ou mettre en place des politiques nationales de réduction des émissions (accroissement de l'efficacité énergétique, promotion de formes d'agriculture durables, développement de sources d'énergies renouvelables ...);
- coopérer avec les autres parties contractantes (échange d'expériences ou d'informations, coordination des politiques nationales dans un souci d'efficacité à travers des mécanismes de coopération à savoir permis d'émission, mise en oeuvre conjointe et mécanisme de développement propre).

Les pays concernés doivent mettre en place un système national d'estimation des émissions anthropiques (émissions humaines) par les sources et de l'absorption par les puits de tous les gaz à effet de serre non réglementés par le protocole de Montréal.

Les pays signataires dits «de l'annexe» (les pays développés ou en transition vers une économie de marché comme la Russie) ont accepté globalement de réduire de -5,5% leurs émissions de gaz à effet de serre sur la période 2008-2012 par rapport au niveau atteint en 1990.

Parmi ces pays, les États-Unis ont accepté une réduction de 7%, le Japon de 6% et l'Union européenne de 8%. A la suite de cet engagement, l'Union européenne a estimé nécessaire de procéder à une répartition de la charge de cet objectif entre les quinze États membres. A l'horizon 2008-2012, la France devra donc stabiliser ses émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 1990.

L'entrée en vigueur du Protocole de Kyoto intervient dès lors qu'au minimum **55 pays** parties prenantes à la Convention sur les changements climatiques l'auront ratifié. Parmi ces pays, devront figurer des pays développés dont les émissions de dioxyde de carbone représentaient en 1990 au moins 55% des émissions totales de ces pays à la même date.

Gerhard Schröder avait parlé, à l'époque, d'une «*obligation morale*» pour la protection des générations futures.

Les pays en développement (comme la Chine, deuxième pollueur du monde après les Etats-Unis, l'Inde ...) ont eux obtenu une exemption.

D'autres hydrocarbures halogénés utilisés pour remplacer les CFC sans nuire à la couche d'ozone - notamment les hydrofluorocarbones et hydrocarbures perfluorés - contribuant au réchauffement de la planète, faisaient aussi l'objet d'une réduction en vertu du Protocole de Kyoto de 1997. Le protocole visait également l'hexafluorure de soufre (SF6), utilisé comme isolant électrique, conducteur de chaleur et réfrigérant[23].

Ce protocole, conclu en 1997 par la communauté internationale sous l'égide de l'ONU, impose à 38 pays développés une réduction moyenne de 5,2% des émissions de gaz carbonique et autres gaz à effet de serre en 2010 par rapport à 1990.

Pour faciliter la réalisation des engagements souscrits, le protocole de Kyoto prévoit, pour les pays développés, la possibilité de recourir à des mécanismes dits " de flexibilité " en complément des politiques et mesures qu'ils devront mettre en oeuvre au plan national.

Ces mécanismes sont au nombre de trois :

1. les " **permis d'émission** ", cette disposition permet de vendre ou d'acheter des droits à émettre entre pays industrialisés ;
2. la " **mise en oeuvre conjointe** " (MOC) qui permet, entre pays développés de procéder à des investissements visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre en dehors de leur territoire national et de bénéficier des crédits d'émission générés par les réductions ainsi obtenues ;
3. le " **mécanisme de développement propre** " (MDP), proche du dispositif précédent, à la différence que les investissements sont effectués par un pays développé, dans un pays en développement.

il ouvre un crédit aux pays signataires (les parties) qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre dans d'autres pays, par trois mécanismes de flexibilité. Le tout sous la surveillance d'un comité d'observance.

À compter de 2008, l'échange international d'unités de quantités attribuées d'émissions permettra au pays de l'Annexe 1 qui auront des difficultés à atteindre leurs « objectifs de Kyoto » d'acquérir des unités de quantités attribuées auprès d'autres pays de l'Annexe 1. Le cadre de ce futur « marché » est établi ainsi : les différents types de crédits qui pourront être échangés sur le même marché seront fongibles, et ce avec une équivalence parfois différente entre eux . Afin de prévenir les risques de « survente » par l'une des Parties, un mécanisme de maintien permanent, à un niveau prédéfini, de la quantité de crédits détenus dans son registre national par une Partie, a été retenu. La mise en place d'un outil informatique permettra ainsi de « bloquer » les transactions qui compromettraient le respect de ces ratios.

L'objectif initial de la conférence de Kyoto était la réduction des émissions de trois milliards de tonnes. Durant celle-ci, les pays riches ont trouvé, trop ambitieux. Au lieu de cette réduction, ils ont décidé de commencer par un tiers de milliard et de se donner dix ans pour y arriver.

À ce jour (en 2005) ce texte a été ratifié par 141 pays et est entré en vigueur le 16 février 2005.

Si les objectifs du protocole sont clairement fixés, les moyens pour y parvenir le sont moins. Leur définition et mise en oeuvre furent l'objet des conférences de Bonn et de Marrakech, en 2001. Finalement, les accords conclus lors de ces deux sommets ont permis de définir les modalités d'application du Protocole de Kyoto. Depuis, la Conférence des Parties s'est réunie à trois reprises afin de finaliser les dispositifs internationaux de lutte contre le changement climatique. En novembre 2005, la Russie a ratifié à son tour le Protocole de Kyoto.

Néanmoins les États-Unis, qui à eux seuls émettent 30 à 35% du total des gaz à effet de serre d'origine humaine, ont décidé en 2001 de ne pas ratifier le Protocole.

25 Sommet Mondial sur le Développement Durable de Johannesburg en 2002

Le Sommet de Johannesburg recommandait une série de mesures pour réduire la pauvreté et protéger l'environnement. Sa mission était délicate sur un point : parer à une dégradation persistante de l'environnement que les grandes multinationales, sous couvert d'impératifs économiques, refusent de prendre en compte.

Il y eut un absent de marque : le président américain.

Le Canada, qui exporte plus de pétrole vers les Etats-Unis que l'Arabie saoudite, a soutenu Washington contre les énergies renouvelables. Les Etats-Unis se sont isolés dans leur refus de l'objectif de réduction de moitié en 2015 du nombre de personnes ne disposant pas de l'épuration des eaux usées.

Le sommet adopta un objectif sur l'eau potable, en restant, par contre, évasif sur les énergies alternatives. Sur la biodiversité et les ressources naturelles, les décisions sont là aussi bien minces, à l'exception de la pêche.

Le Plan d'action adopté au Sommet engageait la communauté internationale à réduire de moitié, d'ici à 2015, la proportion d'êtres humains sans eau potable ni assainissement adéquat. Il prévoyait également une « augmentation substantielle » des énergies renouvelables dans la consommation énergétique mondiale sans fixer de pourcentage ni d'échéance, contrairement à ce que souhaitait l'Union européenne.

Le **Sommet** de la Terre s'acheva avec des bonnes intentions, mais sans résultats précis (et sans objectifs chiffrés). Au total, la protection de l'environnement est apparu comme le parent pauvre d'une discussion essentiellement préoccupée par la dimension économique du développement [28] [29].

26 Pacte climatique entre les USA, l'Australie et 3 pays d'Asie en 2005

Les **Etats-Unis, l'Australie, la Chine, l'Inde** _ les quatre pays les plus gros producteurs mondiaux de charbon _ et la **Corée du sud** ont révélé, le 28 juillet 2005, l'existence d'un projet alternatif au protocole de Kyoto. Cette alliance, baptisée "*Asia-Pacific Partnership for Clean development and Climate*" (ou « *pacte du charbon* »), a également pour objectif final la diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES) afin d'atténuer le changement climatique en cours.

Cependant, les moyens qui seront mis en place privilégient la mise en place de technologies propres et avancées (par exemple, comme l'enfouissement du CO2 sous terre etc. ...), **sans contraintes juridiques sur les réduction des émissions de CO2.**

Stratégie que les Etats-Unis perçoivent comme une manière de respecter l'environnement, **sans nuire au développement économique.**

Selon l'organisation des Amis de la Terre d'Australie, la nouvelle entente « *ne répond pas au besoin immédiat de réduire d'au moins 60%, la pollution des gaz à effet de serre, d'ici 2050* » puisqu'elle ne contient pas d'objectifs chiffrés « *seuls comptent leurs propres intérêts aux dépens du reste du monde* ».

27 La position adoptée par les Etats-Unis à propos de l'accord de Kyoto et ses raisons

Le président des Etats-Unis, George W. Bush, a annoncé, pour des raisons économiques, qu'il renonçait à réglementer les émissions de dioxyde de carbone, considérant désormais comme lettre morte le protocole de Kyoto ¹⁴.

1.9 Les raisons de cette position

- 1) Les raisons du refus de la ratification de l'accord formulé à Kyoto sont justifiés par G. Bush, par le fait qu'il veut éviter des pénuries d'énergie aux USA.
- 2) Il déclare d'autre part à Montréal qu'il ne signerait aucun accord qui tendrait à réduire l'économie de son pays et augmenterait le nombre de chômeurs aux USA. Pour les américains au sommet de Johannesburg, en septembre 2002, "*Notre pouvoir d'achat n'est pas négociable*". C'est un position doctrinale et dogmatique pouvant réduire toute marche de manœuvre qui permettrait d'anticiper le problème de longue date.
- 3) Le protocole de Kyoto comporte pour lui des failles qu'il ne risquerait pas pour son pays.
- 4) Selon lui, il y aurait beaucoup d'avis différents parmi les scientifiques. Certains scientifiques auraient même un peu changé leur avis sur les risques du réchauffement global. Il préfère donc attendre pour avoir une plus grande et pleine compréhension du phénomène.
- 5) Dans les années 70, les membres du « Club de Rome » avait prédit dans les 20 ans, la fin du pétrole, et une catastrophe économique, 2 prédictions qui ne se sont pas vérifiées (on a trouvé depuis d'autres nouveaux gisement de pétrole). Le gouvernement US se méfie des Cassandre écologistes. Il pense qu'ils ont tendance à exagérer.
- 6) Sinon suite aux déclarations de certains scientifiques US, le gouvernement US place beaucoup d'espoir sur de nouvelles techniques et sur la possibilité presque « illimitée » de stocker le CO2 excédentaire dans certaines couches géologiques (Voir à ce sujet le chapitre « 35. Deux projets de stockage du CO2 dans le sous-sol »).
- 7) Sinon, les USA, critique à juste titre, le fait que la Chine et l'Inde ne sont pas contraint à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, avec ce protocole, alors que ces 2 pays deviendront par leur développement économique, les plus grands pollueurs de la planète.

Selon Yannick Jadot, directeur des campagnes à Greenpeace : « *Bush et une partie des sénateurs républicains doivent en grande partie leur élection au soutien sans faille du lobby pétrolier. En échange, le président [qui lui même vient du sérail pétrolier] doit défendre leurs intérêts [...] Exxon Mobil et huit des dix plus grandes multinationales, des entreprises automobiles ou pétrolières, ne veulent pas entendre parler de réglementations sur la combustion des énergies fossiles* » [28].

¹⁴ Il a préféré que les USA se retire de plusieurs traités internationaux, comme le traité ABM (anti ballistic missile) conclu en 1972 entre l'URSS et les États-Unis, _ accords sur le désarmement et la limitation des armements _ et a refusé de ratifier le statut de la Cour pénale internationale.

1.10 Les conséquences de cette position

Même si l'UE déclare qu'il faut ratifier même sans les Etats-Unis, la position de M. Bush menace donc l'effort international pour organiser la prévention du changement climatique.

Plusieurs pays dont le Japon, hésitant maintenant à poursuivre l'action prévue par le protocole de Kyoto.

Cette décision risque d'avoir de fortes répercussions sur le plan international, parce qu'elle "donne à tous les autres pays une licence pour polluer". En effet les pays peuvent facilement refuser pour des raisons logiques de ratifier le protocole de Kyoto sachant que les Etats-Unis ne participent pas.

Comment réduire les émanations de gaz si le plus gros pollueur du monde ne fait pas d'efforts ? Les Etats ont déclaré qu'ils réfléchissent à des propositions, pensant de façon optimiste qu'on pourrait toujours trouver plus tard des solutions ...

La Chine, deuxième émetteur mondial de gaz carbonique, en 2005, principale cause du réchauffement climatique, devrait doubler les Etats-Unis (premiers pollueurs du monde) à l'horizon 2020.

28 En conclusion

Les experts de l'ONU du GIEC prévoient qu'en deux siècles, nous aurons épuisé des réserves qui ont mis cinq cent millions d'années à se constituer, que nous sûrement doublé les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, et peut-être augmenté de quatre degrés la température et de cinquante centimètres le niveau des mers (conclusions que contestent les USA).

Les conséquences écologiques, économiques, sociales et géopolitiques seront alors certainement considérables à long terme.

Et on ne peut écarter les hypothèses à moyen terme :

- a) d'une sixième extinction des espèces,
- b) de grandes migrations massives de réfugiés économiques et/ou environnementaux, des zones tropicales sèches, en cours de désertification, vers le nord (et vers les pays riches).

Le réchauffement de la planète peut bouleverser les climats de façon imprévisible. Si la grande boucle de l'Atlantique Nord s'immobilise, elle peut même causer un refroidissement important en Europe, et par exemple, aussi la disparitions des morues, d'autres ressources ... et l'assèchement des réservoirs hydroélectriques, au Canada, en l'Europe etc ...

Une déstabilisation massive des hydrates de méthane sous-marin, stables à une température inférieure à 0 °C, causée par exemple par une augmentation de 1 ou 2°C de la température des océans, ce qui est tout à fait compatible avec les modèles climatiques actuels, risque de produire une augmentation catastrophique du taux de méthane, un puissant gaz à effet de serre, dans l'atmosphère, et donc de renforcer de façon non prévisible l'effet de serre lui-même, ce qui semble avoir été le cas lors de la grande extinction des espèces du Permien.

Or nous savons par les études paléontologiques, que lors d'une augmentation rapide de la température du climat, les espèces vivantes ne peuvent s'adapter, provoquant leur extinction massive (on pense que cela pourrait déjà arriver, à court terme, avec les coraux) (voir encadré plus bas dans cet article).

Ne pas tenir compte de l'éventualité de menaces est jouer à l'apprenti sorcier ou à la roulette russe. Dans le doute, il serait pourtant préférable de prendre les devants.

Même en supposant qu'on arrête toute émission de CO₂, à la date d'aujourd'hui, il faudra des années, sinon des siècles, avant que le taux de CO₂ revienne à la normale, à cause de l'inertie et lenteur des phénomènes climatiques.

Et il est donc important d'agir dès maintenant.

Une question subsidiaire est de comprendre pourquoi des planètes proches, comme la Terre, Vénus et Mars, ont vécu des destins si différents : Mars ayant perdu toute son eau et son atmosphère _ sa température (moyenne de -50°C) et sa pression (6 hPa soit 0,6% de la pression terrestre) ne permettant pas à l'eau liquide d'exister _, et Vénus, elle, ayant subi un terrible effet de serre à cause de son atmosphère essentiellement constituée de gaz carbonique, rendant toute vie impossible, avec une température au sol de 464-470 °C en moyenne et une pression au sol de 90 fois supérieure à celle qui règne à la surface de la Terre ¹⁵. Alors que si l'on regarde les chiffres des distances au soleil et de leur masse ¹⁶, Vénus et la Terre auraient pu pourtant avoir un destin semblable. Ces faits devraient donc nous interroger sur le propre destin de la Terre, notre planète, et nous faire prendre peut-être conscience que la couche d'atmosphère créée par la vie et composée d'azote et d'oxygène est peut-être un milieu fragile.

29 Bibliographie

- [1] Article de Wikipedia, sur le Paléocène : <http://en.wikipedia.org/wiki/Paleocene>
 [1bis] http://en.wikipedia.org/wiki/Paleocene-Eocene_Thermal_Maximum
 [2] Article de Wikipedia, sur le Néoprotérozoïque : <http://fr.wikipedia.org/wiki/N%C3%A9oprot%C3%A9rozo%C3%AFque>
 [3] Histoire des climats de la terre : des causes aux conséquences, Frédéric Fluteau, Colloque de Paléogéographie, 8 et 9 mars 2004, http://www.academie-sciences.fr/conferences/colloques/pdf/colloque_08_03_04_programme_gb.pdf
 [4] L'impact de la tectonique des plaques sur le climat. L'exemple de la mousson en Asie au cours de la fin du Cénozoïque, Frédéric Fluteau, <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/rechfran/4theme/paleo/impactectoplaqu.html>
 [5] Extinctions de masse, J.C. Boulay : http://membres.lycos.fr/jcboulay/astro/sommaire/astronomie/univers/galaxie/etoile/systeme_solaire/terr_e1/extinction/page_extinction.htm
 [6] Histoire de la Terre, Le Précambrien, J.C. Boulay : http://membres.lycos.fr/jcboulay/astro/sommaire/astronomie/univers/galaxie/etoile/systeme_solaire/terr_e1/precambrien/page_precambrien.htm#explosion
 [7] Réchauffement de la planète ?, <http://www.meteo.fr/meteonet/decouvr/dossier/effetser/eff.htm>
 [8] Chronologie des impacts météoritiques avec la terre : <http://www.er.uqam.ca/nobel/k20322/pchrono.html>
 [9] Association SAGES Sensibilisation des gaz à effet de serre : <http://sages.free.fr>
 [10] "Chauffe, W... ,chauffe", Alterfocus : <http://www.alterfocus.com/Dossiers/Kyoto/>

¹⁵ Selon Jean-Loup Bertaux, du CNRS « *Sans effet de serre, la température vénusienne serait de 300 °C inférieure.* » [c'est à dire Vénus aurait une température de 170 °C, toujours non favorable à la vie. Selon une autre source, sans effet de serre, la température de Vénus n'excéderait d'ailleurs pas les 25°C [41] (voir à ce sujet l'encadré « La température de surface des planètes » à la fin de ce document). Pour expliquer cet effet de serre extrême, les scientifiques mettent en avant la proximité de Vénus, qui est à 108 millions de kilomètres du Soleil, contre 150 pour la Terre. Mais cela ne suffit pas. Ils pensent aussi qu'au tout début de son histoire la planète devait posséder un océan. L'effet de serre a alors pu s'emballer et faire s'évaporer toute l'eau des océans. Ce qui a accéléré encore l'effet de serre [39].

¹⁶ Le tableau suivant fait la comparaison statistique de ces 3 planètes :

	Distance (AU) (*)	Rayon (Terre)	Masse (Terre)	Rotation (Terre) (°)	# Lunes	Inclinaison Orbitale	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm ³)
Vénus	0,72	0,95	0,89	244	0	3,394	0,0068	5,25
Terre	1,0	1,00	1,00	1,00	1	0,000	0,0167	5,52
Mars	1,5	0,53	0,11	1,029	2	1,850	0,0934	3,95

Et nous constatons que les masses de Vénus et de la terre sont assez semblables et que les distances au soleil ne sont pas si différentes.

(*) ua, unité astronomique : mesure de distance égale à la distance moyenne entre le Soleil et la Terre (149 597 870 km).

(°) vitesse de rotation de l'atmosphère.

- [11] L'extinction du Permien, J.C. Boulay :
http://jcboulay.free.fr/astro/sommaire/astonomie/univers/galaxie/etoile/systeme_solaire/terre1/extincti on/page_extincperm.htm
- [12] Le réchauffement de la planète, http://radio-canada.ca/tv/decouverte/24_rechauf/
- [13] <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/motscles/savoirPlus/carotte.html>
- [14] http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/special_pol/04/article_2605_fr.html
- [15] <http://www.sciencepresse.qc.ca/archives/2002/cap2503022.html>
- [16] <http://www.greenfacts.org/climate-change/rechauffement-planete/rechauffement-planete.htm>
- [17] Le lutétien du Bassin Parisien (2) :
<http://www.mnhn.fr/mnhn/geo/collectionlutetien/lutetien3-2.html>
- [18] Unité de recherche climatique, University of East Anglia and Hadley Centre, The Met Office, Grande-Bretagne – 2004.
- [19] P.C.R.F - Planetary Coral Reef Foundation : www.pcrf.org
- [20] IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change](http://www.ipcc.ch/) (ou GIEC - Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) : <http://www.ipcc.ch/>
Le rôle du GIEC/IPCC est "d'évaluer l'information scientifique, technique et socio-économique qui concerne le risque de changement climatique provoqué par l'homme" (l'IPCC dépend de l'ONU).
- [21] Notes d'information consacrées au programme Envisat et à ses utilisations
http://www.notre-planete.info/geographie/changement_0.php
- [22] photo ESA 2001 : http://www.esa.int/esaCP/ESAYGOZ84UC_France_1.html#subhead2
- [23] Les causes humaines de l'accroissement de l'effet de serre : <http://www.rechauffement-climatique.fr.st/>
- [24] Augmentation de l'effet de serre: les conséquences :
http://perso.chello.fr/users/g/glecq/planete/main_energie.htm
- [25] La réduction des forêts, http://perso.chello.fr/users/g/glecq/planete/main_deforestation.htm
- [26] La mise en œuvre du Protocole de Kyoto DGEMP-DIDEME, juillet 2005 :
http://www.industrie.gouv.fr/energie/developp/serre/textes/se_kyoto.htm
- [27] [Le guide pratique du marché des quotas d'émission de CO2](http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/guide_quotas_final.pdf) :
http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/guide_quotas_final.pdf
- [28] Sommet de Johannesburg : sale temps pour la terre, Digipresse, samedi 24 aout 2002,
<http://fr.news.yahoo.com/020823/108/2q3cc.html>
- [29] Le Sommet de la Terre s'est achevé en demi-teinte, LE MONDE, 04.09.02,
<http://www.lemonde.fr/web/article/0,1-0@2-3220,36-289054,0.html>
- [30] Travaux sur les accidents climatiques brutaux et localisés, 16/11/2004, http://www.notre-planete.info/actualites/actu_448.php
- [31] Broecker, 1991, In Climate Change 1995, Impacts, adaptations and migration of climate change : scientific-technical analyses, contribution of working group 2 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge Press University - 1996.
- [32] Les causes des variations climatiques naturelles de la Terre, http://www.notre-planete.info/geographie/climatpasse_0.php
- [33] Déforestation. La dégradation des espaces boisés, René LE THÉRY, Ingénieur en Chef du Génie Rural des Eaux et des Forêts. Directeur Technique de l'O.N.F.
http://environnement.ecoles.free.fr/deforestation_degradation_bois.htm
- [34] Atlas de la menace climatique, Frédéric Denhez, éd. Autrement, 80 pages, Octobre 2005.
- [35] "Introduction au siècle des menaces" (La sixième extinction de masse), Jacques Blamont, éditions Odile Jacob, 555 pages, 2005.
- [36] Les glaces du Groenland et de l'Antarctique fondent-elles ou s'accumulent-elles ?, Hervé Morin, journal Le Monde, dimanche 23 – lundi 24 octobre 2005.
- [37] Film documentaire « Qui a tué les grands mammifères » ? Réalisateur: Chris Lent, BBC, 2005.
- [38] L'effet de serre, http://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_de_serre
- [39] L'Europe veut dévoiler l'atmosphère de Vénus, Julien Bourdet, Le Figaro du 09 novembre 2005,
<http://www.lefigaro.fr/sciences/20051109.FIG0105.html>
- [40] Historique de l'effet de serre, <http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Rayonnement/Articles/histoireffetdeserre.html>
- [41] Global Change, The International Geosphere Biosphere Programme,
<http://medias.obs-mip.fr/www/GIP/igbp.en.php>
- [42] Venus Express : en route pour l'étoile du berger, 10/11/05, http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/science_actualites/sitesactu/question_actu.php?langue=fr&id_article=5063,

[43] Suess, E., Bohrman, G., Greinert, J. et Lausch, E. Le méthane dans les océans. Pour la Science, No 264 - octobre 1999.

[44] Les hydrates de méthane: une réserve énergétique énorme, mais une bombe écologique en puissance, <http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/hydrates.methane.htm>

[45] La Terre, une planète fragile, Les effets visibles du réchauffement (IV)
<http://www.astrosurf.org/lombry/sysol-terre-ecolo4.htm>

[46] les puits de carbone, une porte de sortie ? <http://www.climat.be/fr/puits.html>

[47] Les puits de carbone ne vont-ils pas absorber le surplus de CO₂ ?, de Jean-Marc Jancovici, <http://www.manicore.com/documentation/serre/puits.html> e-mail : jean-marc@manicore.com

[48] Evaluation des ressources forestières mondiales 2005 (FRA 2005), Nov 2005, FAO (Food and Agriculture Organization - Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).

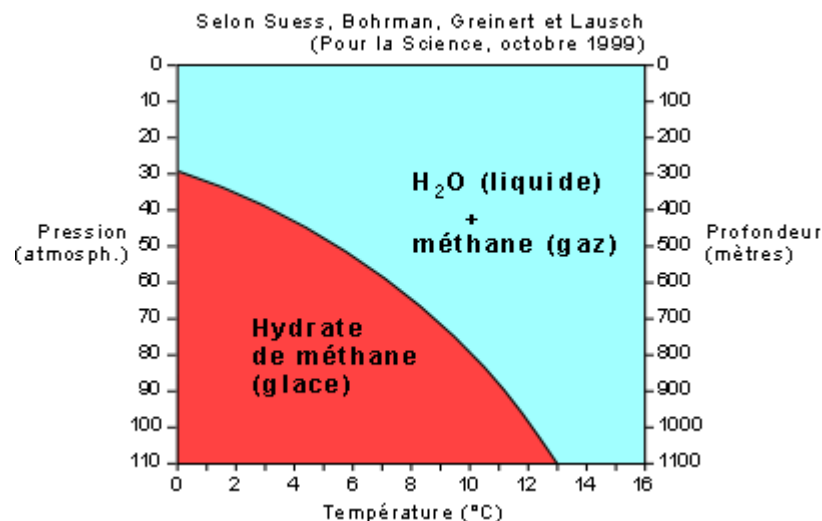
[49] Température moyenne à la surface de la Terre et effet de serre, Marie-Antoinette Mélières, Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (LGGE), mail : melieres@lgge.obs.ujf-grenoble.fr <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/sysfacte/effetserre/>

[50] Température de surface des planètes et effet de serre, Pierre THOMAS, professeur à l'ENS de Lyon, <http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Rayonnement/Articles/temperaturesurface.html>

30 Les hydrates de Méthanes

On appelle hydrates de méthane les composés résultants du piégeage du méthane (CH₄) et d'autres gaz (dioxyde de carbone CO₂, sulfure d'hydrogène H₂S ...), par la glace, sous des conditions de température et de pression particulières.

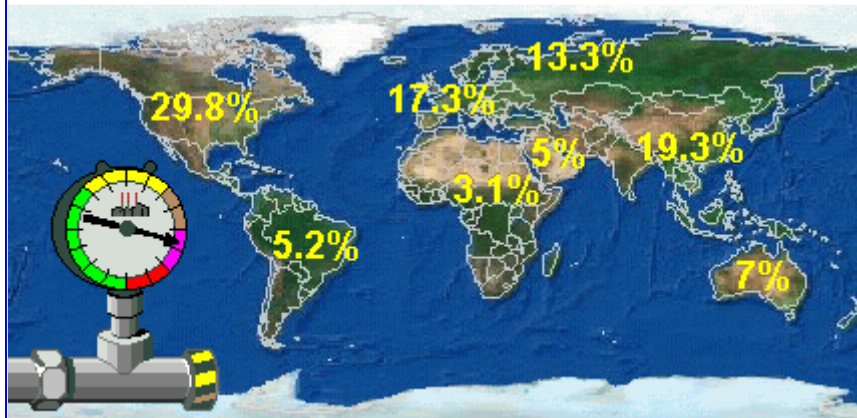
Un centimètre cube de glace peut contenir jusqu'à 164 centimètre cubes de méthane.



L'hydrate de méthane est stable sous les conditions de température et de pression exprimées par la zone en rouge, et instable sous les conditions de la zone en bleu. Par exemple, un hydrate de méthane qui se trouve dans les sédiments océaniques par 600 mètres de fond à 7°C est stable. Il deviendra instable avec une augmentation de température de moins de 1°C. Devenir instable signifie que la glace fond et libère son gaz [44].

Le long de la seule côte sud-est des USA, une zone de 26 000 kilomètres carrés contient 35 Gt (gigatonnes = milliards de tonnes) de carbone, soit 105 fois la consommation de gaz naturel des USA en 1996 [44].

La consommation mondiale d'énergie : Un appétit insatiable



La consommation énergétique totale du monde en 1998. Avec 7% de la population mondiale, les Etats-Unis consomme 30% de l'énergie, mais les pays en développement réclament aujourd'hui leur part du gâteau. Dessin Lombry. Source: [Worldwatch Institute](#), Review of world energy.

31 L'évapotranspiration

C'est le mouvement de l'eau vers l'atmosphère par l'évaporation du sol et transpiration par les plantes. Ce sont les milieux marins et terrestres qui par évaporation et évapotranspiration humidifient les masses d'air véhiculées par les vents. Par condensation, il y a formation de nuages et à nouveau précipitations sur les continents et les îles, et bien évidemment sur les océans eux-mêmes. Quelque 150 000 kilomètres carrés de forêts, soit plus du quart de la surface de la France, disparaîtraient chaque année dans le monde.

Or, les arbres jouent un rôle important dans les processus de ruissellement, d'infiltration et d'évapotranspiration et par voie de conséquence dans la pluviosité d'une région, car leurs racines retiennent l'eau dans les sols, et leurs feuilles en transpirant produisent et maintiennent une certaine humidité dans l'air. Ainsi, lorsque trop d'arbres sont abattus, le régime des pluies diminue, le ruissellement augmente et l'érosion des sols s'accélère, la terre n'étant plus retenue par les racines. Toute déforestation participe donc localement à la perturbation du cycle de l'eau, contribuant à la désertification de certaines régions peu arrosées du globe.

En outre, lors de l'érosion accrue des sols, les fragments arrachés sont entraînés vers les cours d'eau, dont ils relèvent le fond des lits. La déforestation des alpages, par exemple, transformés en pâturages aux alentours de l'an mil, a élevé le niveau du Rhône en amont de Lyon d'environ un à deux mètres.

Enfin, la disparition des forêts alluviales, qui jouent un rôle de filtre entre le milieu terrestre et les rivières, supprime un moyen naturel d'épuration des eaux, notamment vis-à-vis des nitrates. Une épaisseur de 30 mètres de forêt alluviale, par exemple, suffit en effet à empêcher la quasi-totalité des nitrates d'atteindre les eaux de la rivière.

Les arbres jouent un rôle important dans les processus de ruissellement, d'infiltration et d'évapotranspiration et par voie de conséquence dans la pluviosité d'une région, car leurs racines retiennent l'eau dans les sols, et leurs feuilles en transpirant produisent et maintiennent une certaine humidité dans l'air. Ainsi, lorsque trop d'arbres sont abattus, le régime des pluies diminue, le ruissellement augmente et l'érosion des sols s'accélère, la terre n'étant plus retenue par les racines [33].

32 [Les « puits de carbone »](#)

Dans notre environnement, le carbone est présent sous la forme de gaz carbonique dans l'atmosphère et l'océan, de composant de [molécules organiques \(plantes, animaux, microbes\) vivants ou morts](#), de matières solides (calcaire, charbons ...). Les quantités des flux annuels de carbone se chiffrent en gigatonnes (milliards de tonnes). Les "stocks" de carbone sont l'atmosphère (750Gt), l'océan profond (36900Gt), les sols (1700Gt) et la végétation (et animaux 610Gt). Le carbone fait l'objet d'échanges entre [l'atmosphère et la végétation](#) (60Gt), l'océan de surface et l'atmosphère (90Gt), entre l'océan et la vie marine (40 à 50Gt). L'homme a rajouté 5,5Gt qui viennent de la combustion des énergies fossiles et de la [production du ciment](#) et 1,1Gt due à la déforestation.

On appelle " **puits de carbone**" la biomasse et l'océan car ce sont eux qui absorbent le carbone dans le cycle. En l'absence des émissions dues à l'homme, la capacité d'absorption dépasse les émissions. Mais avec les émissions dues à l'activité humaine, le bilan des échanges avec l'atmosphère (émissions - absorptions) montre que 3,3 Gt sont émises sans être recyclées par l'écosystème.

Source : <http://www.climat.be/fr/puits.html> [46].

Voir aussi le chapitre « 35. Deux projets de stockage du CO2 dans le sous-sol ».

33 Les glaciations et ères ou périodes glacières

La plus ancienne période glacière connue est datée à 2 milliards d'années (au précambrien). Les traces de glaciations de l'époque ont été trouvées au Canada.

Le second âge glacière est daté entre 800 et 600 millions d'années (+) et fût plus étendu que le premier. La glace s'est dispersée autour des régions polaires. Les glaciers ont envahi à plusieurs reprises les continents alors localisés différemment (l'Afrique, l'Amérique du Sud, l'Australie et l'Antarctique constituaient un large super-continent appelé Proto-Pangée jusqu'à la fin du Précambrien). Les traces de cette période glaciaire se trouvent au Groenland, en Scandinavie, en Afrique, en Australie et en Extrême Orient. Ces périodes de glaciations qui correspondent à la limite entre Eres Précambrienne et Paléozoïque sont les plus étendues. On pense même que la grande glaciation précambrienne a recouvert totalement la terre (c'est la théorie de la « boule de neige »).

Les dernières périodes glacières :

On sait que l'Europe, entre 1 millions d'années et maintenant, fut envahie par **d'énormes glaciations**. Il y en eu quatre en alternance avec des périodes chaudes. La première, celle de Günz, se situe de un million d'années à sept cents mille ans avant notre ère. La seconde, celle de Mindel, se situe de six cents mille ans à trois cents mille ans avant notre ère. La troisième, celle de Riss, se situe de deux cents mille ans à cent vingt mille ans avant notre ère. Enfin la quatrième, celle de Würm, se situe de quatre-vingt mille ans à dix mille ans avant notre ère. Les périodes glacières en Europe correspondent à des périodes humides en Afrique, et les périodes chaudes en Europe correspondent à des périodes sèches en Afrique, avec régression des forêts et progression de la savane.

L'explication de ces périodes glacières :

La course de la terre (sa révolution) autour du soleil est elliptique, et son centre (son foyer) n'est pas le soleil. En fait, cette révolution elliptique se « promène » entre deux positions extrêmes. L'axe de la terre, quand à lui, n'est pas vertical et son inclinaison varie aussi.

Lorsque ces deux phénomènes se conjuguent, on peut se retrouver en été avec un soleil très éloigné de la terre, et assez bas sur l'horizon, diminuant d'autant sa puissance calorifique.

Cela initie les périodes glacières. Ensuite, elles "s'auto-alimente" (l'albédo de la terre se renforçant avec les chutes de neiges et l'avancée des glaces et glaciers, qui lui même renforce le froid et donc les chutes de neige) jusqu'à ce que l'on se retrouve dans la situation contraire, qui va permettre de revenir à une situation "tempérée".

Le rôle des variations de températures récentes :

De l'évaporation des mers à la formation de neige au Groenland, les changements climatiques abrupts durant les périodes glacières récentes ont influé et influent encore sur le cycle global de l'eau de l'hémisphère Nord, et pas uniquement sur la circulation des courants océaniques. Ces variations rapides de températures – pouvant atteindre localement 16°C – modifient la trajectoire des dépressions atmosphériques ainsi que le volume des banquises du Grand Nord.

34 La température de surface des planètes

La valeur mesurée de la température moyenne à la surface de la Terre _ obtenue en faisant la moyenne de la température sur toute la surface de la Terre (océans et continents, la surface de ces derniers étant ramenée au niveau de la mer), et sur toute l'année _ est actuellement de 15 °C +/- 0,1 °C [49] (288°K).

Chaque mètre carré de la surface de la Terre "rayonne" (c'est-à-dire "émet un rayonnement infrarouge d'une énergie de") 390 watts (ou J/s). Moyennée sur l'année et sur l'ensemble de la Terre, l'énergie solaire qui arrive est de 342 watts par m2. Toute cette énergie ne "chauffe" pas la Terre, c'est-à-dire n'est pas absorbée par la Terre (atmosphère, océans, continents) . Environ 30% (c'est-à-dire 107 watts par m2, terme B) est renvoyé (ou réfléchi) dans l'espace par l'atmosphère, les océans et les continents. Il en reste donc 235 watts par m2 (terme C) qui vont "chauffer" la Terre [49].

Les facteurs influençant la température d'équilibre d'une planète :

1) **La distance au Soleil (D) :**

La température de surface d'une planète varie en fonction de l'inverse de la racine carré de la distance au Soleil (D).

2) **L'albédo de la planète (A) :**

planète réfléchit directement vers l'espace une fraction de l'énergie solaire incidente. Pour la Terre, 35% de l'énergie solaire incidente est réfléchié directement vers l'espace. Le facteur qui mesure cet effet de réflexion est l'albédo (A). Pour la Terre, A = 0,35.

Une fois l'albédo prise en compte, on peut supposer que la planète, située à la distance D (en U.A.) du Soleil, émet de la lumière comme le ferait un corps noir.

On peut alors calculer sa température d'équilibre théorique T_e : $T_e = 280 \times (1 - A / D^2)^{1/4}$.

Cette température d'équilibre dépend donc de l'albédo de la planète (A) et de la distance qui la sépare au Soleil (D).

Température d'équilibre à la surface d'une planète et effet de serre

Quatre corps solides ont une température d'équilibre mesurée supérieure à la température d'équilibre théorique. Ce sont Vénus, la Terre, Mars et Titan. Le seul point commun entre ces quatre corps, c'est la présence d'une atmosphère, et donc d'un effet de serre. [50]

	Distance moyenne au soleil (D, en U.A.)	Albédo (A)	Température moyenne de surface (T, en °C)	Pression atmosphérique	Composition atmosphérique
Vénus	0.72	0.64	450 (effet de l'atmosphère)	92 000 hPa	96% CO2 3,5% N2 traces : H2O, SO2, H2SO4,...
Terre	1.00	0.34	15 (effet de l'atmosphère)	1 013 hPa	78% N2 21% O2 traces : CO2, H2O, Ar,...
Mars	1.52	0.15	-50 (effet de l'atmosphère)	7 hPa	95 % CO2 3% N2 traces : H2O, O2

[50].

Petite précision : Selon l'auteur, si Vénus avait la même atmosphère (même composition atmosphérique : 78% N2, 21% O2) et même pression atmosphérique, même albédo, même coefficient d'absorption, alors, en se basant sur la loi de la distance au carré du rayonnement (+), la température moyenne de surface de Vénus serait malgré très élevée, située entre 200 et 300 °C, **soit une température restant invivable pour la vie organique et pour l'homme** (sous réserve que ses calculs soient exacts, calculs tenant compte en particulier de la loi de Stéfan sur la quantité d'énergie émise (Ee) par chaque mètre carré de surface du corps noir). B.L.

35 Deux projets de stockage du CO2 dans le sous-sol

Ce type de projet a le vent en poupe dans les milieux libéraux et des affaires US et auprès du gouvernement G.W. Bush. Ils espèrent que, par ces projets, l'on pourra éviter une réduction drastique de la consommation d'énergie fossile, aux conséquences économiques importantes.

1.10.1 *Stockage de CO2 dans les sables bitumineux*

L'Alberta élabore un projet, de 1,5 milliard \$ Can, de récupération de CO2 (provenant d'une source fixe comme les raffineries de pétrole) pour l'injecter dans les réservoirs de sables bitumineux _ dont la période de production primaire s'achève _ cela pour en augmenter la pression et permettre l'extraction d'hydrocarbures supplémentaires. Ce procédé appelé « récupération améliorée des hydrocarbures (enhanced oil recovery - EOR) » utilise habituellement de l'eau. Ce nouveau procédé permettrait de réduire les émissions de CO2 et de prolonger la vie de ces gisements. En Alberta, actuellement 4 projets pilotes d'EOR utilisant le dioxyde de carbone sont à l'étude ainsi que la mise en place d'un réseau concernant le captage et le stockage du CO2.

Sources : a) « **L'Alberta prépare un projet de captage de CO2 de 1.5 milliards CAD** ». The Calgary Herald, 02/11/2005. b) Alberta Energy : <http://www.energy.gov.ab.ca> c) Capture et stockage du CO2, Environnement Canada : http://www.ec.gc.ca/energ/oilgas/co2/co2_general2_f.htm et d) <http://www.canada.com/calgary/calgaryherald/index.html>

1.10.2 *Stockage de CO2 dans les roches volcaniques*

Des chercheurs de 5 institutions dont « l'Idaho National Laboratory » se lanceront, dès 2007, dans l'évaluation des propriétés de séquestration de CO2 de certaines roches volcaniques. Ce projet de 17,9 millions de dollars aura pour but d'injecter sous pression du dioxyde de carbone liquide dans une couche de basalte très développée (environ 220.150 km²) dans le sous-sol de l'Idaho, du Montana, de l'Etat de Washington, et de l'Oregon. Ces roches sont supposées pouvoir absorber chimiquement de grandes quantités de dioxyde de carbone avec la roche. L'utilisation de cette technique impliquera qu'on puisse séparer le dioxyde de carbone des sources d'émissions.

Sources : a) <http://newsdesk.inl.gov/index.cfm?file=20051104> b) « **L'injection de CO2 dans les roches volcaniques au secours du réchauffement climatique** », The Register-Guard, 13/11/05. c) http://www.registerguard.com/news/2005/11/13/c2.or.greenhousegas.1113.p1.php?section=nation_world

Actuellement, pour le stockage du CO2, trois types de réservoirs géologiques sont envisagés. Les aquifères profonds (au-delà de 800 mètres), qui contiennent de l'eau salée, offrent les plus grandes capacités de stockage, évaluées à 10 000 milliards de tonnes de CO2. Viennent ensuite les réservoirs pétroliers et gaziers (1 000 milliards de tonnes environ), dont certains bénéficient de l'injection de CO2, qui favorise la récupération du pétrole résiduel (et aussi dans les anciens sites de forage pétrolier). Troisième forme de réservoir possible, les couches de charbon profond ne représentent que 2 % de la production de CO2 d'ici à 2050. Mais, la encore, le gaz carbonique injecté peut présenter un intérêt économique, en permettant la récupération de méthane.

Source : <http://www.lemonde.fr/web/article/0,1-0,36-689371,0.html>

Le point de vue du spécialiste : que faut-il en penser ?

A compléter.

Le point de vue de l'auteur : Pour le projet de l'Idaho, si l'on compte \$500 Us pour l'achat et l'entretien d'un arbre, \$17 900 000 cela ferait 35800 arbres plantés, donc un très belle forêt, c'est à dire aussi un beau « puit de carbone ». Plus sérieusement, n'est-on pas sûr que sous l'effet de la poussée de plaques tectoniques, ces couches épaisses de basaltes ne se fractureront pas un jour ? ... Mais l'auteur reconnaît, en effet, qu'il n'est pas spécialiste de ces questions.

36 Annexe : « GWP » Potentiel d'effet de serre (horizon 100 ans, source IPCC 1995)

GWP : « Global Warming Potential » ou « Potentiel d'effet de serre » ou « équivalent CO₂ », à l'horizon 100 ans.

1) Gaz à effet de serre :

Gaz à effet de serre	Potentiel de Réchauffement Global (GRP)		
	Espace de Temps		
	20 ans	100 ans	500 ans
Dioxyde de carbone	1	1	1
Méthane	62	24	8
Oxyde nitreux	290	320	180
CFC-12	7900	8500	4200
HCFC-22	4300	1700	520
Ozone (gaz instable)	Difficile à déterminer		

2) Gaz synthétiques :

Nom du Produits	«GWP» [équi. CO ₂]
Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) / Hydrofluorocarbures (HFC)	
HFC-23 trifluoromethane CHF ₃	11700
HFC-32 difluoromethane CH ₂ F ₂	650
HFC-41 fluoromethane CH ₃ F	150
HFC-125 pentafluoroethane C ₂ H ₅ F ₅	2800
HFC-134a 1,1,1,2-tetrafluoroethane C ₂ H ₂ F ₄	1300
HFC-143 1,1,2-trifluoroethane C ₂ H ₃ F ₃	300
HFC-143a 1,1,1-trifluoroethane C ₂ H ₃ F ₃	3800
HFC-227ea 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane C ₃ H ₂ F ₇	2900
HFC-236fa 1,1,1,3,3,3-hexafluoropropane C ₃ H ₂ F ₆	6300
HFC-245fa 1,1,1,3,3-pentafluoropropane C ₃ H ₃ F ₅	560
HFC-365 mfc 1,1,1,3,3-pentafluorobutane C ₄ H ₅ F ₅	910
HFC-43-10 1,1,1,2,3,4,4,5,5,5-decafluoropentane C ₅ H ₂ F ₁₀	1300
Hydrofluoroether (HFE)	
HFE-7100 methoxy-nonafluoro-n-butane methoxy-nonafluoroisobutane C ₄ F ₉ OCH ₃	390
Perfluorkohlenwasserstoffe (PFKW) / perfluorocarbures (PFC)	
PFC-14 tetrafluoromethane CF ₄	6500
PFC-116 hexafluoroethane C ₂ F ₆	9200
PFC-218 octafluoropropane C ₃ F ₈	7000
PFC-31-10 decafluorobutane C ₄ F ₁₀	7000
PFC-C-318 octafluorocyclobutane C-C ₄ F ₈	8700
PFC-41-12 dodecafluoropentane C ₅ F ₁₂	7500
PFC-51-14 tetradecafluorohexane C ₆ F ₁₄	7400
R-7146 Sulfur Hexafluoride SF ₆	23900 (+)

(+) à molécules égales, le « potentiel de réchauffement » global de l'hexafluorure de soufre (SF₆) est considéré comme étant 23 900 fois plus élevé que celui du dioxyde de carbone (CO₂).

La plupart de ces gaz ont cependant un fort potentiel d'effet de serre - 1 000 à 24 000 fois supérieur à celui du CO₂ - et persistent dans l'atmosphère durant des siècles ou des millénaires.

Source : <http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/stobobio/produkte/atmosphre/24.pdf>

HFCs and PFCs

Chemical	Atmospheric Lifetime	GWP	Use
HFC-23 (CHF ₃)	270 264 260	12240 11700 12000	Byproduct of HCFC-22 used in very-low temperature refrigeration blend and component in fire suppression. Also used for plasma etching and cleaning in semiconductor production.
HFC-32 (CH ₂ F ₂)	4.9 5.6 5.0	543 650 550	Blend component of numerous refrigerants.
HFC-41 (CH ₃ F)	2.4 3.7 2.6	90 150 97	Not in use today.
HFC-43-10mee (C ₅ H ₂ F ₁₀)	15.9 17.1 15	1610 1300 1500	Cleaning solvent
HFC-125 (C ₂ HF ₅)	29 32.6 29	3450 2800 3400	Blend component of numerous refrigerants and a fire suppressant.
HFC-134 (C ₂ H ₂ F ₄)	9.6 10.6 9.6	1090 1000 1100	Not in use today.
HFC-134a (CH ₂ FCF ₃)	14 14.6 13.8	1320 1300 1300	One of the most widely used refrigerant blends, component of other refrigerants, foam blowing agent, fire suppressant and propellant in metered-dose inhalers and aerosols.
HFC-143 (C ₂ H ₃ F ₃)	3.5 3.8 3.4	347 300 330	Not in use today.
HFC-143a (C ₂ H ₃ F ₃)	52 48.3 52	4400 3800 4300	Blend component of several refrigerant blends.
HFC-152a (C ₂ H ₄ F ₂)	1.4 1.5 1.4	122 140 120	Blend component of several refrigerant blends and foam blowing agent. Also used as an aerosol propellant.
HFC-227ea (C ₃ HF ₇)	34.2 36.5 33.0	3660 2900 3500	Fire suppressant and propellant for metered-dose inhalers, and refrigerant.
HFC-236fa (C ₃ H ₂ F ₆)	240 209 220	9650 6300 9400	Refrigerant and fire suppressant.
HFC-236ea (C ₃ H ₂ F ₆)	10.7 -- 10.0	1350 -- 1200	Not in use today.
HFC-245ca (C ₃ H ₃ F ₅)	6.2 6.6 5.9	682 560 640	Not in use today; possible refrigerant in the future.
HFC-245fa (C ₃ H ₃ F ₅)	7.6 -- 7.2	1020 -- 950	Foam blowing agent and possible refrigerant in the future.
HFC-365mfc (C ₄ H ₅ F ₅)	8.6 -- 9.9	782 -- 950	Some use as a foam blowing agent; possible refrigerant in the future.
Perfluoromethane (CF ₄)	50000 50000 50000	5820 6500 5700	Plasma etching and cleaning in semiconductor production and low temperature refrigerant.
Perfluoroethane (C ₂ F ₆)	10000 10000 10000	12010 9200 11900	Plasma etching and cleaning in semiconductor production.

Perfluoropropane (C ₃ F ₈)	2600	8690	Plasma etching and cleaning in semiconductor production, low temperature refrigerant and fire suppressant.
	2600	7000	
	2600	8600	
Perfluorobutane (C ₄ F ₁₀)	2600	8710	Fire suppressant and refrigerant where no other alternatives are technically feasible.
	2600	7000	
	2600	8600	
Perfluorocyclobutane (c-C ₄ F ₈)	3200	10090	Not used much if any. Refrigerant where no other alternatives are technically feasible.
	3200	8700	
	3200	10000	
Perfluoropentane (C ₅ F ₁₂)	4100	9010	Not used much if any. Precision cleaning solvent-low use refrigerant where no other alternatives are technically feasible.
	4100	7500	
	4100	8900	
Perfluorohexane (C ₆ F ₁₄)	3200	9140	Precision cleaning solvent-low use, refrigerant and fire suppressant where no other alternatives are technically feasible.
	3200	7400	
	3200	9000	

NF3

Chemical	Atmospheric Lifetime	GWP	Use
NF ₃	740	10970	Plasma etching and cleaning in semiconductor production.

SF6

Chemical	Atmospheric Lifetime	GWP	Use
Sulfur hexafluoride (SF ₆)	3200	22450	Cover gas in magnesium production, casting dielectric gas and insulator in electric power equipment fire suppression. Also used as a discharge agent in military systems and formerly an aerosol propellant.
	3200	23900	
	3200	22200	

HFEs

Chemical	Life-time	GWP	Use
HFE-7100 (C ₄ F ₉ OCH ₃)	5.0	397	Cleaning solvent and heat transfer fluid.
	--	--	
	5.0	390	
HFE-7200 (C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅)	0.77	56	Cleaning solvent and heat transfer fluid.
	--	--	
	0.77	55	

Source : <http://www.epa.gov/ozone/geninfo/gwps.html>

37 Le bilan du carbone anthropique pour la décennie 1980 – 1989

Critère	Quantité (tonne de carbone)	Marge (tonne de carbone)
Emissions dues aux <u>combustibles fossiles</u> et à la production de ciment	22,0.10 ⁹	± 0,5.10 ⁹
Emissions dues à la <u>déforestation</u>	7,0.10 ⁹	± 10 ⁹
Total des émissions	29,0.10 ⁹	± 1,5.10 ⁹
Stockage dans l' <u>atmosphère</u>	4,3.10 ⁹	± 0,2.10 ⁹
Absorption par l'océan	3,0.10 ⁹	± 0,8.10 ⁹
Absorption par <u>reforestation</u> de l'hémisphère nord	1,5.10 ⁹	± 0,5.10 ⁹
Autres (ex: expansion naturelle des forêts)	9,2.10 ⁹	± 1,5.10 ⁹
Total de la consommation	18,0.10 ⁹	

Source : <http://membres.lycos.fr/tpeeffetserre/Complet/2B2.htm>



© Journal Métro France.

Une étude récente des glaces antarctiques en 2005

Une étude publiée dans le magazine scientifique américain Science, d'un groupe de scientifiques européens des membres du CEA, reposant sur l'analyse de carottes de glace extraites des zones de l'Antarctique, semble démontrer le rôle majeur de l'homme dans les récentes modifications du climat de la planète et ont montré que les niveaux de gaz carbonique, sont actuellement 27% plus élevés qu'a n'importe quel moment au cours des 650.000 dernières années. L'analyse du gaz carbonique piégé dans ces carottes n'a pas permis de retrouver des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère comparables à celles d'aujourd'hui (380 ppm). Ceux-ci ont commencé à s'accroître avec la révolution industrielle et l'utilisation à grande échelle du charbon comme source d'énergie. Au cours des dernières décennies, le rythme s'est accéléré avec l'industrialisation de nombreux pays et la multiplication des automobiles. Avant les débuts de l'industrie, la concentration de CO₂ ne dépassait pas 278 ppm. Les périodes pendant lesquelles les hommes ont changé la composition de l'atmosphère sont extrêmement courtes au regard des cycles naturels du système climatique", selon l'auteur principal de l'étude, Thomas Stocker, de l'Institut de Physique de l'Université de Berne. Les adversaires de la théorie du réchauffement soulignent qu'au cours de son histoire, la Terre a connu une alternance de phases chaudes et froides, avec notamment plusieurs âges glaciaires dont le dernier s'est terminé il y a quelque 11.000 ans. Mais ces dernières années, les scientifiques ont accumulé une série d'indices attestant de la réalité du phénomène et 2005 semble parti pour devenir l'année la plus chaude de l'histoire.

Cette étude conforte l'idée d'une étroite relation entre le climat et les cycles de méthane et de dioxyde de carbone. Elles montrent aussi que les irrégularités naturelles sont fortes et que les périodes climatiques peuvent durer 20.000 à 30.000 ans. Nous sommes actuellement dans une période chaude depuis 10.000 ans, ce qui pouvait paraître anormal.

Avant 400 000 ans, les périodes chaudes l'étaient un peu moins qu'aujourd'hui, avec un taux de CO₂ compris entre 240 et 260 ppmv. Néanmoins, la Terre a connu un pic de chaleur autour de — 410 000 ans, avec une température plus élevée qu'aujourd'hui de 3° C. Autour de ce pic, les chercheurs ont identifié une période climatique "sœur" de la notre, située entre — 420 000 et — 400 000 ans. Cette dernière, appelée Marine Isotope Stage 11, a été marquée par des températures assez semblables à la période que l'on connaît actuellement, et qui a commencé il y a dix mille ans. La ressemblance entre cette période ancienne et la notre est due avant tout à la configuration similaire des orbites de la Terre et du Soleil, dont les positions relatives seraient la cause première des cycles glaciaires.

Sources : <http://aolinfo.aol.fr/article.jsp?id=13086069>

L'histoire du climat prend un coup de vieux, Le Nouvel Observateur, 25/11/05, Cecile Dumas
http://sciences.nouvelobs.com/sci_20051124.OBS6478.html

Plongée dans les archives du climat terrestre, Le Monde, 25/11/05, Christiane Galus
<http://abonnes.lemonde.fr/web/article/0,1-0@2-3228,36-714209,0.html>

Réchauffement : les niveaux de CO₂ n'ont jamais été aussi haut en 650.000 ans, AFP, 24/11/05