

## 2. Les milieux entre protection et gestion

### 2.4 Les changements globaux

#### 2.4.1 Climat

##### 2.4.1.1 La dérive des climats

# La dérive du climat, une crise écologique

## Résumé

Un précédent article (“L’effet de serre, c’est la vie”, N°26) décrivait le mécanisme de l’effet de serre à l’équilibre. C’est fini, l’équilibre est rompu. Ce n’est pas la première fois que cela arrive, mais cette fois-ci c’est l’homme qui en est la cause au moins principale avant d’en être la victime.

Cet article prend en compte les éléments nouveaux figurant à ce sujet dans le “résumé pour les décideurs” du groupe I du GIEC (4<sup>ème</sup> rapport d’évaluation, noté ici GIEC4 rendu public le 2 février à Paris). Ces éléments sont surlignés comme pour la présente phrase.

**Mots clés :** atmosphère, biomasse, carbone, climat, gaz à effet de serre.

## L’auteur

**Michel Mousel** a exercé ses activités professionnelles dans les domaines de l’administration économique et financière et dans celui de l’environnement – en dirigeant notamment la Mission Interministérielle de l’Effet de Serre (1997 – 2002) ; il a également assumé des responsabilités syndicales, politiques et associatives. Il a fondé l’association 4 D en 1993 et en est aujourd’hui Président. – Remerciements à Arthur Riedacker, Jacques Varet, et à l’ONERC pour leur contribution à la mise au point de ce dossier.

## REPÈRES HISTORIQUES

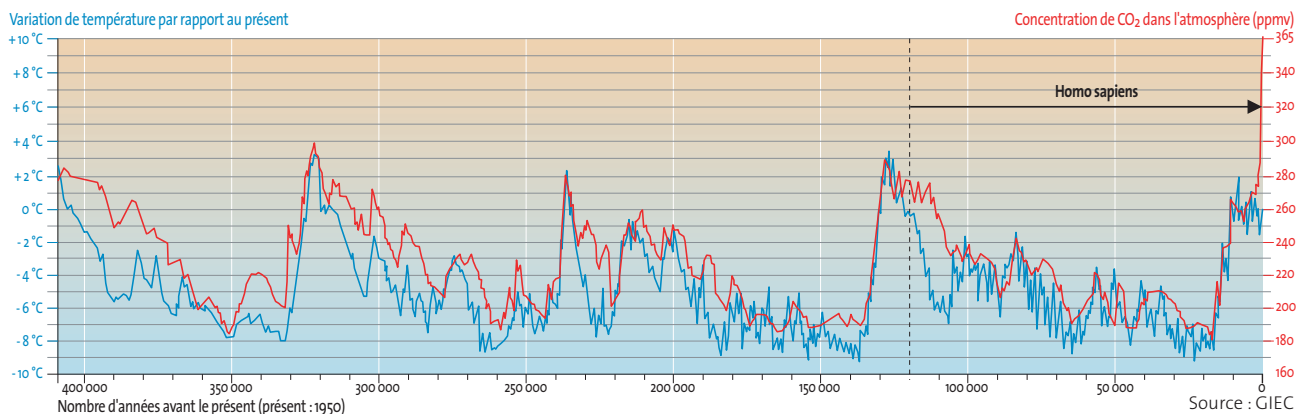
L’état d’équilibre du rayonnement solaire et de l’effet de serre décrit dans l’article 2410 ne constitue pas une constante remontant aux origines de la terre (quatre milliards et demi d’années). Il résulte d’un ajustement sur très longue période des interactions entre les paramètres qui y concourent, avec des cycles récurrents tant de concentration du carbone que de températures. Ainsi l’ère quaternaire s’ouvre-t-elle avec des variations de température qui sont encore d’une amplitude de l’ordre de 10 °C, au moins au début.

## Des cycles de 100 000 ans suivis d’une stabilisation

Le graphique 1 fait apparaître sur 400 000 ans du quaternaire quatre grands cycles “de glaciation” accompagnés d’un cycle comparable du carbone ; la dernière d’entre elles, a connu à son maximum une température inférieure de 4 °C au niveau d’aujourd’hui.

Mais la nouvelle période “interglaciaire” qui lui a succédé (holocène), il y a donc plus de 10 000 ans, a constitué une période de stabilisation – longue à nos yeux, minuscule à l’échelle du temps géologique – qui aurait dû se poursuivre encore pendant au moins 20 000 ans, selon la théorie qui

Graphique 1 : Evolution des températures de l’air et de la concentration en CO<sub>2</sub> durant les 400 derniers millénaires



lie les cycles en question aux variations orbitales de la terre.

Il est à noter qu'à ces grands tournants de l'histoire du climat correspondent des étapes de celle de l'humanité : au début du quaternaire, l'apparition de l'homo erectus ; l'avant dernière période interglaciaire voit naître l'homo sapiens et, peut-être plus significatif encore, le début de notre période interglaciaire dite de Riss-Würm correspond à la sédentarisation des communautés humaines.

**Plusieurs autres types de cycles solaires ont été identifiés :**

Cette période stable commencée il y a 10 000 ans a pu cependant être perturbée par des phases beaucoup moins aiguës de refroidissement.

- Des cycles de courte durée (durée moyenne de 11 ans), d'une amplitude inférieure à 0,5 °C, et des cycles intermédiaires qui constituent plutôt une amplification à moindre périodicité des précédents ;
- Des cycles beaucoup plus longs, d'une périodicité de l'ordre d'un ou deux siècles (ils correspondent notamment au "petit âge glaciaire" situé entre les XIV<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles et marqué par le refroidissement sensible du siècle de Louis XIV).

Ces épisodes sont, eux, imputables à des variations de l'activité solaire. Il est probable qu'on en retrouve certaines manifestations au cours du XX<sup>e</sup> siècle, comme par exemple la "pause" visible sur le graphique 1 entre 1945 et 1970 – ce qui ne remet pas globalement en cause la tendance sur l'ensemble du siècle.

Or cette tendance est à la hausse, elle paraît bien avoir une dynamique propre étrangère aux phénomènes cycliques répertoriés, et, lorsque l'on étudie ses causes, on ne perçoit pas de probabilité d'un retournement naturel qui permettrait de l'assimiler au début d'un nouveau type de cycle.

*"Les informations paléoclimatiques confirment l'interprétation que le réchauffement du dernier demi-siècle est atypique sur au moins les 1 300 dernières années. La dernière fois que les régions polaires ont été significativement plus chaudes qu'actuellement pendant une longue durée (il y a environ 125 000 ans), la réduction du volume des glaces polaires a conduit à une élévation du niveau des mers de 4 à 6 mètres" (GIEC4).*

**LE RÉCHAUFFEMENT EST LÀ...**

Le constat est double :

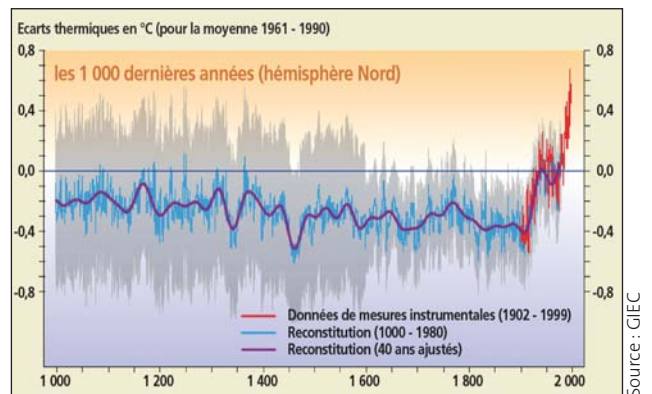
- 1) le réchauffement depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> est un fait, de même que son accélération. Les deux courbes ci-contre permettent de le lire sur une durée de 1 000 ans d'abord, puis sur 150 ans (1856 – 2005). *Le GIEC4 réévalue à 0,74 °C le réchauffement moyen sur le dernier siècle (au lieu de 0,6 °C). Il affirme qu'il est "sans équivoque".*

Le GIEC (Groupe d'Experts intergouvernemental sur l'Evolution du Climat – IPCC) est chargé depuis 1988 d'expertiser l'information scientifique, technique et socio-économique qui concerne le changement climatique provoqué par l'homme. Il est co-piloté par l'Organisation Météorologique Mondiale et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Ses trois premiers rapports (le troisième date de 2001) ont rythmé la prise de conscience internationale du problème.

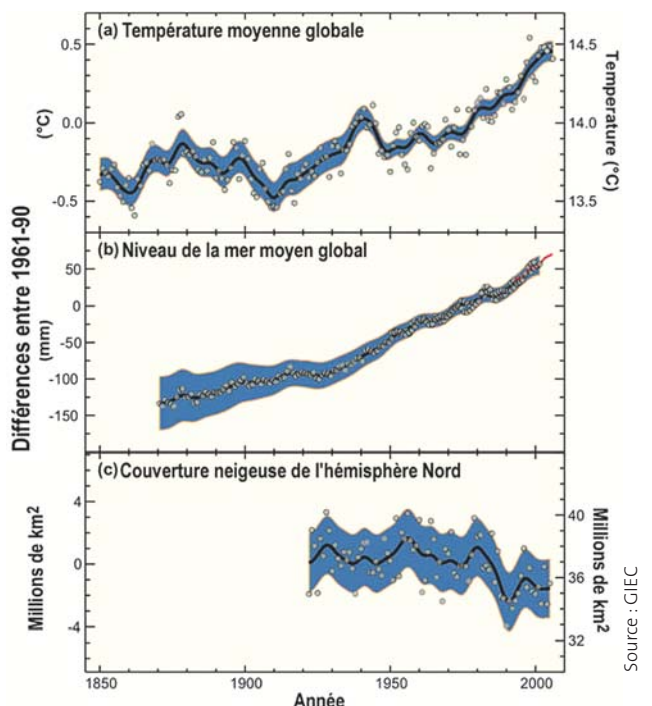
Le quatrième Rapport du GIEC recadrera l'ensemble du sujet climat autour du développement durable à Valence du 12 au 16 novembre. Préalablement, après le groupe I (qui vient d'achever ses travaux à Paris, les groupes II (conséquences des changement climatique, analyse de la vulnérabilité des systèmes socio-économiques et adaptation) et III (solutions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre) font de même respectivement à Bruxelles du 2 au 5 avril et à Bangkok du 30 avril au 3 mai.

Sur le fonctionnement du GIEC cf Michel PETIT, ouvrage cité. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

Graphique N° 2 : **Températures moyennes des mille dernières années**



Graphique N° 3 : **Variation de la température, du niveau de la mer et de la couverture neigeuse de 1850 à nos jours.**





2) les indications du thermomètre sont confirmées par d'autres observations :

- La couverture neigeuse a diminué de 10% depuis la fin des années 60 et la surface des glaces de mer a fondu depuis les années 50 de 10 à 15% durant l'été et le printemps.
- Les pertes des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique **diminuent fortement les masses continentales en même temps qu'elles alimentent le relèvement du niveau de la mer.**
- L'océan a absorbé plus de 80% de la chaleur additionnelle, ce qui contribue à l'expansion de l'eau de mer.
- Le niveau moyen de la mer, quant à lui, s'est élevé de 0,1 à 0,2 mètre au cours du XX<sup>e</sup> siècle, **mais la croissance s'est accélérée depuis les années 90.**
- Le contenu moyen de l'atmosphère en vapeur d'eau a augmenté dans une proportion cohérente avec le contenu en eau d'un air plus chaud.
- **À l'échelle des continents, des régions et des bassins océaniques, de nombreux changements à long terme du climat ont été observés. Ils incluent des changements de température et de la glace arctiques, des changements largement répandus dans la quantité des précipitations, la salinité de l'océan, les structures**

*des vents et des aspects de situations météorologiques extrêmes, comme les sécheresses, les fortes précipitations, les vagues de chaleur.*

#### Les autres signes du changement climatique

*Il n'y a pas que la température*

*"La température ne constitue qu'un indice des changements climatiques, qui se manifestent aussi de manière plus sensible par des variations de précipitation, de couverture de neige ou de glace, voire (...) dans certaines formes de variabilité climatique. Ces variables fluctuent de manière naturelle, à des échelles de temps très variées : cycles saisonniers, fluctuations interannuelles – la plus célèbre et la plus puissante de ces fluctuations est El Niño – ou décennales. (...) Déterminer que le climat change revient à montrer soit qu'une tendance continue se superpose à ces fluctuations naturelles, soit que ces fluctuations elles-mêmes changent de caractère".*

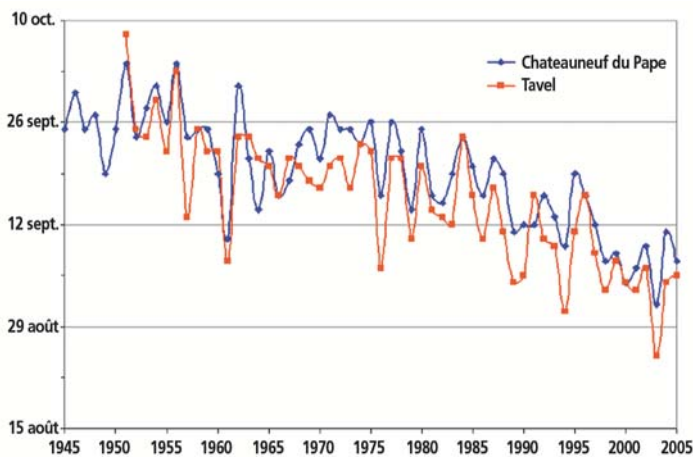
Hervé Le Treut, "La base scientifique" in Science du changement climatique, Acquis et controverses, Iddri, 2004.

Pour l'Europe et la France, l'ONERC<sup>1</sup> considère comme "les plus convaincantes" les observations suivantes :

<sup>1</sup> Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique. L'ONERC publie une batterie d'indicateurs très parlants sur les manifestations du changement climatique en France – <http://www.onerc.gouv.fr>

- “Le réchauffement constaté en France métropolitaine est d’environ 50% plus important que le réchauffement moyen sur le globe. La température moyenne annuelle a augmenté de 1 °C chez nous pour 0,6 °C sur le globe. (...) Des épisodes caniculaires similaires ou pires que celui de 2003 se représenteront inévitablement, et de plus en plus souvent.”
- “On observe un recul important de la totalité des glaciers de montagne (...)”
- “Les rythmes naturels sont déjà fortement modifiés (cf ci-dessous dates des vendanges avancées de 3 semaines en 50 ans ... oubliée, la date de la rentrée scolaire au 1<sup>er</sup> octobre, ndlr). La croissance des peuplements forestiers a augmenté de 30% en un siècle. Nombre de déplacements vers le nord de certaines espèces animales ont été constatés, y compris dans les océans.”
- “Ce qui est vrai pour la France métropolitaine est naturellement vrai pour l’Europe, et a été souligné par l’Agence Européenne pour l’environnement dans son premier rapport sur les impacts du changement climatique paru en 2004.”

Graphique N° 4 :  
Dates de vendanges en Côtes du Rhône méridionales  
(appellations Châteauneuf du Pape & Tavel).



**... ET CE SONT LES HOMMES  
QUI L'ONT ACTIONNÉ**

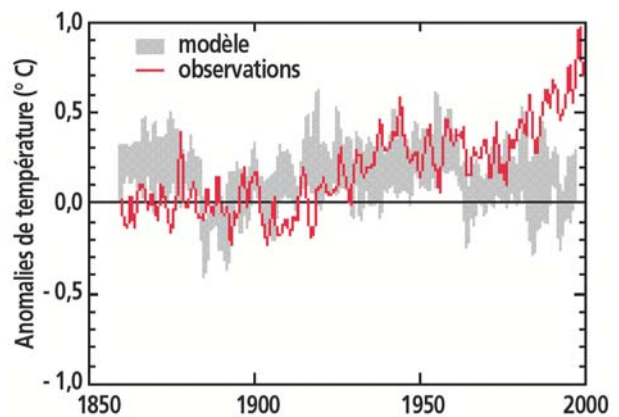
Dans l'article 2410 consacré à l'effet de serre, on a vu que la température sur terre était principalement dépendante de deux facteurs : l'intensité du rayonnement solaire, et la concentration de gaz à effet de serre (et la combinaison des deux). Il est donc nécessaire d'abord de démêler ces deux causes principales du forçage radiatif additionnel. Dans l'épisode qui nous préoccupe de nos jours, la première catégorie n'est pas hors de cause, notamment jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup>, mais plutôt comme "bruit de fond" auquel se superpose le facteur principal, la variation de la composition gazeuse de l'atmosphère depuis le début du réchauffement. Ainsi, avec le graphique 5, le GIEC fait-il apparaître que si l'on compare les forçages radiatifs tels qu'ils sont calculés par les modèles de simulation et, séparément, les causes de forçage d'origine

naturelle ou d'origine anthropique, c'est avec ces derniers que la corrélation se révèle la meilleure (alors que la pause du milieu du XX<sup>e</sup> siècle est bien liée à la baisse du forçage naturel).

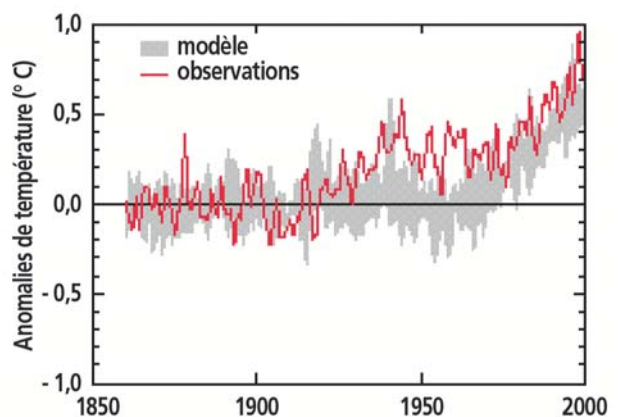
*GIEC4 est encore plus affirmatif : il estime que les changements de rayonnement solaire depuis 1750 ont provoqué un forçage radiatif qui n'est que la moitié de ce qui était encore estimé par GIEC3. Et, dans son échelle propre des certitudes scientifiques, l'affirmation que "l'essentiel de l'accroissement observé de la température moyenne globale depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle est dû à l'augmentation observée des gaz à effet de serre anthropiques" est montée d'un cran, passant de "vraisemblablement" à "très vraisemblablement".*

Graphique N° 5 :  
Températures à la surface simulées et moyennées  
annuellement et globalement.

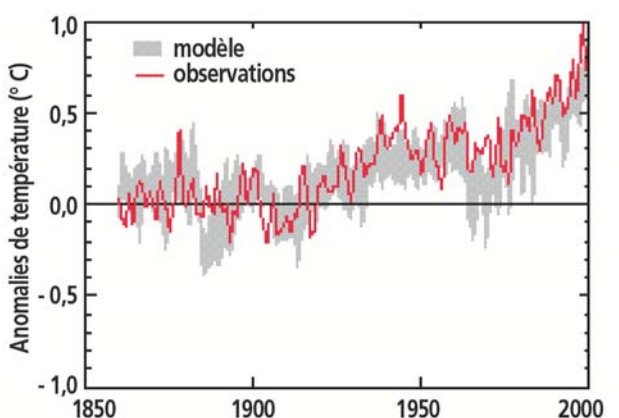
a) Forçages naturels



b) Forçages d'origine humaine

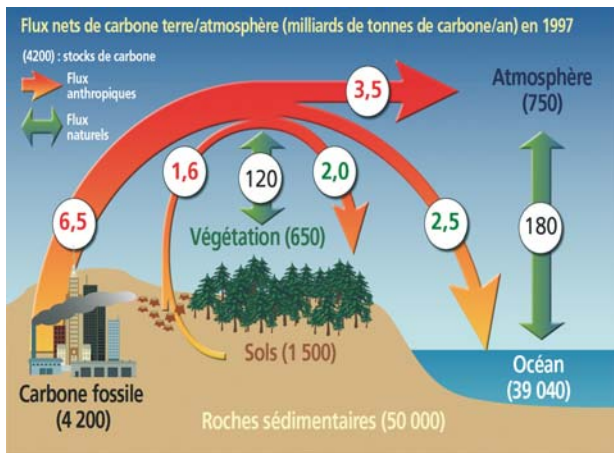


c) Tous forçages confondus



Source : GIEC 3<sup>ème</sup> rapport d'évaluation

**Cycle du carbone** (voir article "L'effet de serre, c'est la vie 2.4.1.o")



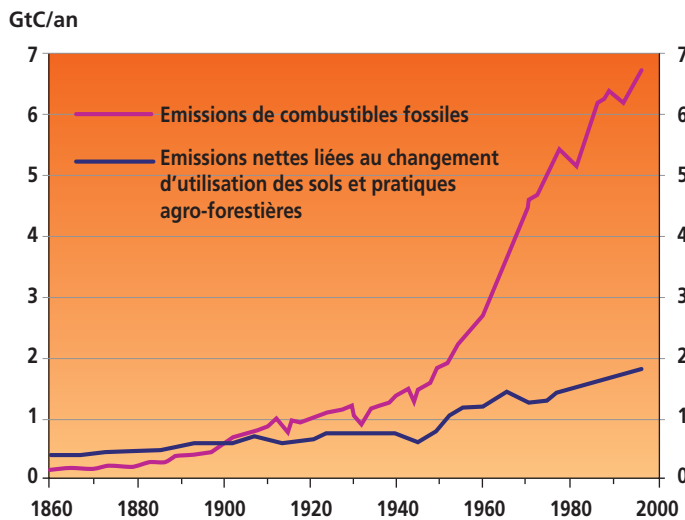
Source : BRGM et GIEC

Ce que l'on sait des évolutions de teneur en gaz à effet de serre de l'atmosphère confirme cette approche des causes. Or le GIEC4 observe une forte accélération de la croissance de la composition de cette teneur depuis le début de cette décennie, ce qui le conduit d'ailleurs à élargir l'intervalle des probabilités à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle avec un haut de la fourchette à 6,3 °C.

En se plaçant sur la trace du cycle du carbone tel qu'il était décrit dans l'article sur l'effet de serre sur le graphique rappelé par la vignette ci-dessus, on repère facilement le caractère anthropique de cette dérive.

Si l'on considère le CO<sub>2</sub>, on constate qu'il est le principal contributeur au dérèglement du cycle du carbone, sous ses deux branches, celle de la photosynthèse et du stockage

Graphique N° 6 :  
Les deux branches du carbone d'origine anthropique



Sur le graphique ci-dessus sont figurées les émissions nettes des écosystèmes terrestres. Or les émissions brutes atteignaient en revanche (dans les années 90) environ 120 GtC par an, c'est-à-dire près de 20 fois celles des combustibles fossiles ! Mais l'absorption annuelle de gaz carbonique par la photosynthèse est presque aussi importante que les émissions brutes. (...) La distinction entre émissions nettes et émissions brutes est ici fondamentale. C'est à l'ignorance de cette différence qu'est attribuable la majorité des erreurs d'interprétation sur le rôle des biomasses dans les évolutions des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Arthur Riedacker

végétal, et celle des émissions liées aux utilisations de carbone fossile. Alors que chacune des deux branches étaient équivalentes en 1900, elles ont cru depuis, mais pas dans les mêmes proportions : on peut imputer un quart de l'augmentation de CO<sub>2</sub> à la première catégorie, le bilan des mouvements dans les deux sens s'est déséquilibré non pas tant par augmentation des émissions, que par insuffisance de captation terrestre (changement dans l'affectation des terres, les pratiques agricoles, déforestation nette, provenant pour beaucoup depuis la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle des déforestations tropicales).

Et les trois autres quarts proviennent de la combustion de combustibles et carburants fossiles, et des cimenteries. Les océans pour leur part n'ont pas vu leur capacité d'absorption s'adapter en temps voulu à l'accumulation supplémentaire de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Au total,

- La teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> connaît une augmentation de plus de 30% depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle.
- La teneur actuelle n'a jamais été dépassée durant les derniers 650 000 ans, ni même vraisemblablement durant les derniers 20 millions d'années.
- L'accroissement annuel de la concentration du CO<sub>2</sub> a été plus grand pendant les 10 dernières années qu'il ne l'a été depuis 1960.

Si l'on considère les autres gaz à effet de serre figurant dans le tableau de l'article sur l'effet de serre, on constate des tendances allant globalement dans le même sens.

- La teneur atmosphérique en méthane CH<sub>4</sub> a augmenté depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle de 150% (715 à 1 774 ppb<sup>2</sup> en 2005) et continue d'augmenter quoique plus lentement. La teneur actuelle n'a pas été dépassée durant les derniers 650 000 ans. "Il est très vraisemblable que l'accroissement observé de la concentration du méthane est dû aux activités humaines, principalement l'agriculture et l'utilisation des combustibles fossiles". De plus, les émissions de monoxyde de carbone (CO) liées notamment à l'automobile contribuent à l'augmentation des teneurs en CH<sub>4</sub> de l'atmosphère.
- La teneur atmosphérique en oxyde nitreux N<sub>2</sub>O a augmenté de 17% depuis 1750 et continue d'augmenter. La teneur actuelle n'a pas été dépassée durant au moins le dernier millier d'années. Plus du tiers des émissions de N<sub>2</sub>O est désormais anthropique (engrais azotés, alimentation du bétail, industrie chimique).
- L'ozone troposphérique, produit largement par la circulation automobile, est caractéristique des dégradations de l'environnement apparues depuis la seconde guerre mondiale et généralisées à travers le monde. Outre ses effets directs (santé), il contribue au réchauffement des couches de l'atmosphère les plus proches de la terre, et il se comporte également en accélérateur du forçage

<sup>2</sup> ppb = parties par milliard

radiatif des autres gaz. Cela n'est pas contradictoire avec les conséquences analogues de l'appauvrissement de la stratosphère en ozone, le refroidissement qu'il entraîne dans ces zones plus éloignées, comme conséquence de l'action de ces autres gaz à effet de serre que sont les halocarbures (infra). Au total, l'ensemble de ces perturbations de l'ozone, relayées par les autres gaz et les modifications de la captation du CO<sub>2</sub> par les masses océaniques se solde par une contribution au réchauffement global.

- Produits de la chimie industrielle, les halocarbures sont dans leur totalité responsables d'un forçage radiatif supplémentaire d'origine anthropique. Ils sont, rappelons-le, à la fois nocifs pour la couche d'ozone et pour la stabilité de l'effet de serre. Ils ont fortement augmenté après la seconde guerre mondiale. Le protocole de Montréal (1987-1989) a arrêté la fabrication des plus répandus, dont la formule contient du chlore particulièrement destructeurs de l'ozone (CFC, HCFC) dont la concentration diminue fortement ; mais leurs substituts, bien qu'appauvrissant moins la couche d'ozone, sont aussi des gaz à effet de serre et leur teneur du coup est croissante.

Une mention particulière doit être faite du cas des avions, qui ne répond pas exactement à cette classification. Comme tout véhicule motorisé utilisant les énergies fossiles, l'avion émet du CO<sub>2</sub> (et des oxydes d'azote dont les combinaisons avec d'autres gaz à effet de serre perturbent la température de la troposphère). Mais de plus, ils contribuent à une présence supplémentaire d'eau dans la stratosphère, où elle augmente le forçage radiatif avec une efficacité décuplée par la durée longue de son séjour dans cette couche.

---

### UN COUP PARTI ?

---

Résumons-nous : l'effet de serre, c'est un équilibre fragile, qui n'a été réalisé jusqu'à présent que dans une période infime au regard des temps géologiques, mais infinie pour l'histoire humaine à laquelle il a permis de se dérouler. Cet équilibre est aujourd'hui menacé par une tendance qui s'est amorcée lors de ce qu'on appelle la "révolution industrielle" opérée par la fraction de l'humanité installée en Europe ou dans des espaces de peuplement d'origine européenne. Il se confirme que la concomitance des deux événements n'est pas fortuite, puisqu'à la différence de tous les autres changements antérieurs, c'est principalement la perturbation du cycle du carbone par l'intensité de l'activité humaine qui est à la source de ce déséquilibre.

A ce stade, nous avons déjà des représentations des conséquences qui peuvent en résulter pour les écosystèmes, la biosphère et l'homme en son sein. Nous commençons aussi à mesurer le désordre et les souffrances qui peuvent en résulter – et des assureurs nous alertent même sur des coûts monétaires dans un langage soudain accessible à certains grands décideurs planétaires devenus plus sages dans l'éloignement de leurs "staffs", comme Sir Nicholas Stern sur le rapport de qui l'Encyclopédie reviendra.

Se pose alors une question essentielle pour apprécier l'ampleur des risques encourus : pour combien de temps en avons-nous avec cette mutation, et est-elle susceptible d'un retournement naturel ? La question comporte deux aspects :

- Celui de l'existence, ou non, de stabilisateurs ou de contre effets naturels. S'il est avéré qu'un aspect du changement climatique favorable au réchauffement peut être générateur de processus de sens inverse, pour autant, il apparaît que l'effet du premier est supérieur à celui du second. Par exemple, l'augmentation du CO<sub>2</sub> stimule la photosynthèse, mais celle-ci conduit à absorber moins de carbone qu'il n'en est émis. En général on est donc en présence d'un processus d'auto-alimentation du changement dans le sens où il a commencé à se produire. On est donc ramené à une vérité de bon sens : si les causes persistent, il en sera de même pour les effets. C'est ce qu'analysent les scénarios du Giec sur lesquels le prochain article reviendra. *Il est cependant à noter que GIEC4 s'engage beaucoup plus que ses prédécesseurs sur la probabilité d'une extrapolation des phénomènes que l'on peut déjà – sous les réserves usuelles – rattacher au réchauffement : contraction de la couverture neigeuse, diminution des glaces dans l'Arctique et l'Antarctique, chaleurs extrêmes, fortes précipitations, cyclones tropicaux, typhons et ouragans, plus fréquents et plus intenses, ralentissement de la circulation thermohaline de l'Atlantique (n'induisant cependant pas d'arrêt du réchauffement dans la région).*
- Celui de la durée – durée de la nocivité des gaz additionnels envoyés dans l'atmosphère, durée des conséquences de leur augmentation, on pourrait dire de l'inertie du non-durable. Un des éléments de l'"alchimie" conduisant à l'équilibre de l'effet de serre était la combinaison de durées de séjour des gaz dans l'atmosphère. Cette combinaison est également détruite et le stockage est plus long. Mais les effets sur la température de l'atmosphère comme par exemple sur le niveau de mers sont eux-mêmes dans des ordres de grandeur différents :
  - Si l'on décidait d'arrêter maintenant les activités sources d'émissions additionnelles,... ces émissions seraient ainsi interrompues en ..... 1 siècle,
  - La stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> prendrait ..... 2 à 3 siècles
  - La stabilisation de la température serait acquise au bout de ..... plusieurs siècles
  - L'arrêt de l'augmentation du niveau des mers attendrait ..... 1 à plusieurs millénaires.

*Selon GIEC4, "si tous les forçages radiatifs étaient maintenus constants au niveau de 2000, un réchauffement induit se produirait au cours des deux décennies suivantes à une vitesse d'environ 0,1 °C par décennie". Faut-il en conclure que les jeux sont faits et qu'il ne reste plus qu'à se protéger, sauve qui peut ? Pour le savoir, on regardera d'abord à quoi ressemblent les scénarios qui pourraient conduire ce monde à être durable ou non.*

Michel Mousel

**Pour en savoir plus :**

- Sylvie Joussaume, *Le Climat : d'hier à demain*, CNRS, 2000.
- Jean Jouzel et Anne Debroise, *Le climat : jeu dangereux*.
- Michel Petit, *Qu'est-ce que l'effet de serre*, Vuibert, 2003.
- GIEC, *Bilan 2007 des changements climatiques, les bases scientifiques physiques*. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

**Lire également dans l'encyclopédie**

- ❖ Michel Mousel, *L'effet de serre, c'est la vie* (N°26).

Ce document est strictement réservé aux souscripteurs de l'encyclopédie du développement durable.  
Toute reproduction ou citation devra mentionner 4D - l'encyclopédie du développement durable.

**Les éditions des Récollets**

c/o association 4D - 150, rue du Faubourg Saint-Martin - 75010 Paris

Tél. : 01 44 64 74 94 - [dd.recollets@association4d.org](mailto:dd.recollets@association4d.org)

Directeur de la publication : Jean-Pierre Piéchaud