

# Dossier scientifique : le changement climatique\*

## Quelques faits introductifs *par Robert Kandel*

Dans ce numéro de *Rayonnement du CNRS*, nos lecteurs trouveront des articles sur quelques-unes des questions du changement climatique. Sur ces questions travaillent en France de nombreux chercheurs de différentes disciplines, faisant des contributions importantes – dans certaines spécialités, de tout premier plan mondial - aux progrès des sciences du climat.

Les articles de ce numéro se limitent essentiellement aux changements climatiques du passé récent et du futur proche. Précisons. La planète Terre existe depuis plus de quatre milliards d'années, période pendant laquelle le Soleil, la Terre, son atmosphère, ses climats et la vie ont beaucoup évolué, parfois de manière dramatique. Sur cette histoire longue et passionnante travaillent de nombreuses équipes de recherche, en France comme ailleurs. Mais ces travaux-là ne font pas l'objet de ce dossier. Les articles de Valérie Masson-Delmotte et Hervé Le Treut traitent du passé « récent », toutefois un passé qui s'étend bien au-delà des quelques millénaires du passé des historiens : il s'agit des climats du dernier million d'années. De même, pour les changements climatiques futurs, nos auteurs considèrent surtout le prochain siècle, sans oublier ni les prochaines décennies ni le prochain millénaire, mais sans aller jusqu'au prochain cycle de Milankovitch. Cette restriction de l'horizon temporel simplifie le problème de comprendre l'évolution et les variations du système climatique, qui reste cependant d'une redoutable complexité.

Le climat est un résumé de conditions physiques – températures, mais aussi disponibilités d'eau douce - qui déterminent largement les possibilités de vie à la surface de la Terre. Il dépend du Soleil, mais aussi et de manière cruciale de l'atmosphère, mince enveloppe gazeuse entourant la planète. Or, l'atmosphère planétaire est altérée par les activités humaines : la découverte de cette altération, confirmée et précisée depuis les années 1970, a rendu de plus en plus aiguë la question du risque de changement climatique anthropique, avec des implications importantes pour l'économie et la géopolitique. C'est pour cette raison qu'a été créé en 1988 le Groupe intergouvernemental d'experts sur

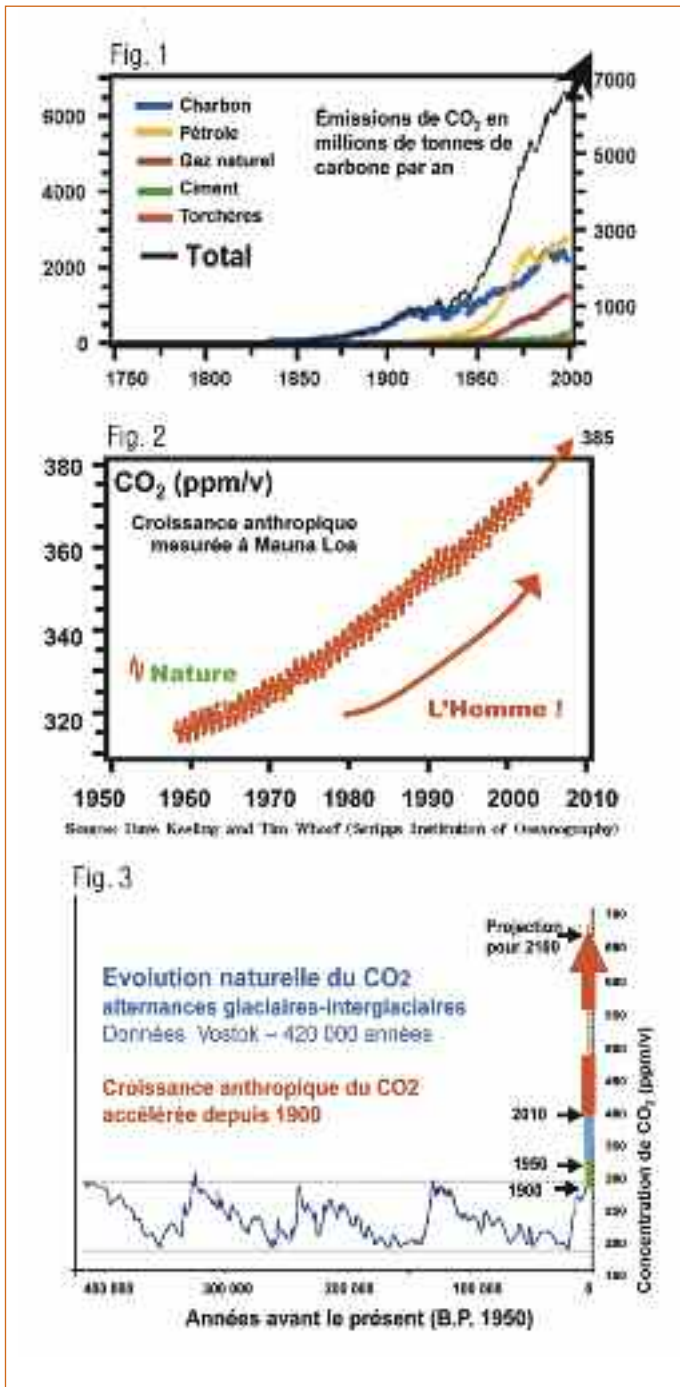
l'évolution du climat (GIEC, IPCC en anglais), dont le mode de travail est décrit dans les articles de Michel Petit et Hervé Le Treut. Les attaques contre le GIEC ainsi que la Conférence de Copenhague de fin 2009 ont dominé l'actualité pendant quelques mois. A la suite de l'échec de Copenhague, Michel Serres a écrit (*Le Monde*, 22/12/2009) : « On a oublié d'inviter la Terre ». J'écrirais plutôt que beaucoup de politiques - et beaucoup de citoyens aussi - ont tendance à oublier qu'ils sont obligés de rester sur Terre, et qu'il n'y en a qu'une. Les réactions de la nature aux activités des humains peuvent être peu commodes, sans que l'on puisse les prévenir par décision politique, issue ou non de débats démocratiques. De toute façon, il ne peut être question de suivre l'actualité politique dans ce numéro du Bulletin.

### Rappelons quelques faits solidement établis

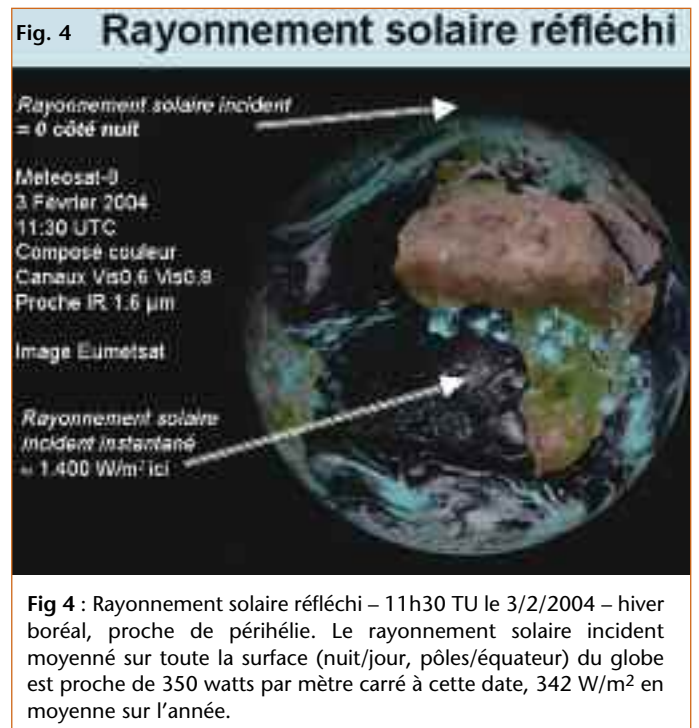
1. Depuis quelques décennies, les activités humaines envoient vers l'atmosphère des quantités de plus en plus grandes de certains gaz à molécules polyatomiques – dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) en premier lieu (fig. 1). Ainsi, à la station de Mauna Loa (Hawaï), où la composition de l'atmosphère correspond à une bonne moyenne sur l'Hémisphère Nord, l'augmentation du dioxyde de carbone, mesurée systématiquement depuis 1957, dépasse de loin le cycle annuel naturel (fig. 2). Ce cycle résulte de la végétation sur la zone tempérée des continents : la végétation retire du ( $\text{CO}_2$ ) à l'air pendant la saison de croissance, quand la photosynthèse agit, et le restitue pendant la morte-saison, quand la respiration domine.

Depuis quelques décennies déjà, les concentrations de ( $\text{CO}_2$ ) et de méthane dans l'atmosphère de toute la planète sont sorties de l'enveloppe des variations naturelles observées sur 740.000 ans, au moins, comme on le voit sur la figure 4 de l'article de Valérie Masson-Delmotte. La figure 3 montre les variations du  $\text{CO}_2$  au cours des derniers 420.000 ans, révélées par la carotte de glace de Vostok (Antarctique).

\*Le lecteur trouvera la signification des principaux termes utilisés pour ce dossier dans le Lexique page 51.



2. La réflexion du rayonnement solaire dépend surtout des propriétés des nuages et des surfaces (figs. 4 et 6). Des gaz (H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub> en premier lieu), qui ne représentent pourtant qu'une très faible fraction de l'atmosphère, contribuent de manière significative à l'absorption et la réémission du rayonnement infrarouge (le rayonnement de « chaleur » de la Terre) (figs 5 et 6).



Cet effet physique - appelé, par analogie imparfaite, « effet de serre » - est bien connu depuis Fourier. Les gaz ajoutés par les activités humaines piègent davantage ce rayonnement dans la basse atmosphère, réchauffant la surface de la Terre (fig. 6). Ceci constitue déjà une perturbation des flux d'énergie (un « forçage », dans le langage des physiciens) : cette perturbation est plus forte, d'un facteur au moins 10, que celle due à la variation cyclique de l'irradiance solaire (fig. 7). Et ce forçage du changement climatique par renforcement de l'effet de serre naturel continuera de croître tant que l'on n'aura pas réduit au moins de moitié les émissions anthropiques de gaz à effet de serre.

En outre, au moins depuis les années 1970, le forçage du réchauffement par l'effet de serre additionnel est plus grand que celui de « l'effet parasol », c'est-à-dire le renforcement de la réflexion du rayonnement solaire (fig. 4) lors d'éruptions volcaniques (par exemple celles du Krakatoa puis du Pinatubo) ou à cause des pollutions par le dioxyde de soufre et les particules (fig. 7), forçage qui agit dans le sens d'un refroidissement.

Les conditions physiques dans l'atmosphère réagissent pratiquement instantanément à ces forçages. Pour l'océan, en revanche, comme pour l'eau à la surface des



**Fig. 5a :** Rayonnement infrarouge thermique émis vers l'espace le jour - 12h TU. Le signal le plus faible, représenté en blanc, vient des nuages élevés (cirrus, cumulonimbus). Là où le ciel est sans nuage, le signal le plus fort, représenté en noir, vient surtout des surfaces chaudes, les terres (surtout les déserts du Sahara, de l'Arabie et de Namibie) se réchauffent nettement plus que les mers au cours de la journée.

**Fig. 5b :** Rayonnement infrarouge thermique émis vers l'espace la nuit - 0h TU – le signal le plus faible vient des nuages élevés (cirrus, cumulonimbus). Là où le ciel est sans nuage, le signal le plus fort vient surtout de la surface. Le contraste terre-mer s'inverse. La nuit, les mers restent plus chaudes (voir surtout la Mer Rouge et la Méditerranée orientale) alors que les terres se refroidissent assez rapidement (voir surtout la péninsule ibérique, l'Afrique du Nord et l'Arabie).

continents et dans le sous-sol, les temps de réaction vont de quelques jours (localement) à un ou deux millénaires (globalement).

3. Depuis plus d'un siècle, le climat se réchauffe - avec des irrégularités forcées par les éruptions volcaniques, par la pollution, peut-être aussi par des variations solaires (fig. 8).

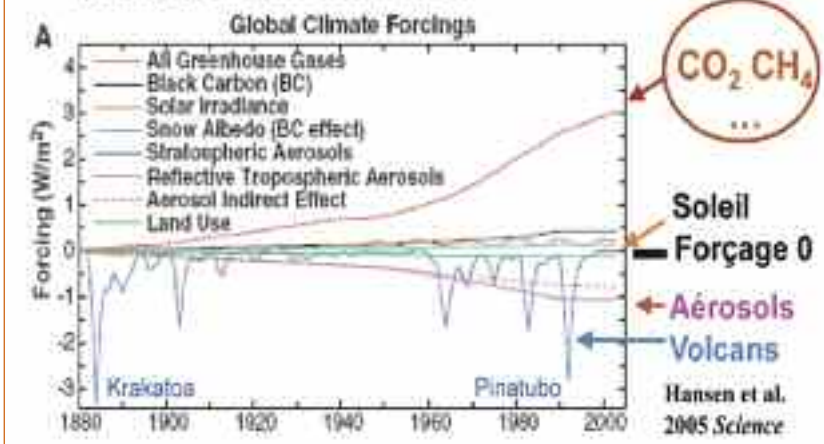
Depuis les années 1970, ce réchauffement s'accélère. Certains soi-disant « sceptiques » déclarent qu'il n'y

a plus de réchauffement. Cela n'est pas vrai. En moyenne sur le globe, la décennie 2000-2009 est la plus chaude depuis le début des mesures météorologiques (fig. 9). Les mesures et les statistiques à la base de ce constat viennent de nombreux services météorologiques de par le monde. Pour le climat actuel, comme pour celui qui se dessinera au cours des prochaines décennies, il ne faut raisonner ni sur la base des variations plurimillénaires (Milankovitch) de l'orbite et de la rotation de la Terre... ni sur le calendrier des remaniements ministériels... !



4. Bien sûr, il reste beaucoup d'incertitudes, notamment sur les réponses des différents types de nuages aux changements de l'état de l'atmosphère, qui peuvent soit amplifier soit limiter le changement. Plus critiques encore sont les incertitudes sur la répartition géographique et la magnitude des changements dans les précipitations. Certains « climato-sceptiques », insistant sur l'importance des problèmes de la fourniture de l'eau potable aux populations des pays pauvres, voudraient faire passer la question du changement climatique au second plan. Rappelons que les besoins d'eau pour l'agriculture et l'élevage - donc de l'eau en quelque sorte alimentaire - sont plus importants par un facteur au moins dix que les besoins d'eau

Fig. 7 Les variations du Soleil et de l'activité volcanique ne jouent qu'un rôle *secondaire*.



potable. Les changements climatiques modifient les conditions d'exercice de l'agriculture. Et même si, pour la France, les conséquences peuvent ne pas être dramatiques, comme le rappelle Bernard Seguin, les problèmes d'adaptation seront autrement difficiles dans de nombreux pays pauvres.

5. Et le Soleil ? Quel peut être le rôle de son activité parfois spectaculaire – de ses taches, protubérances, éruptions...- dont l'influence se fait bien sentir dans la haute atmosphère ?

Son irradiance (le nombre de watts qu'il envoie vers la planète) ne varie que de 0,1%. Quelles peuvent être les réponses de la troposphère (le théâtre du climat : les couches atmosphériques, de la surface à une dizaine de kilomètres d'altitude) aux forçages très faibles liés à cette activité solaire ? Il faut rester sceptiques, tant que l'on n'a pas élucidé quantitativement les mécanismes de ces réponses.

Il en est de même pour d'éventuelles amplifications de ces forçages par la circulation océanique. Un problème important est de mieux déterminer dans quelle mesure des variations climatiques interdécennales résultent de variations internes, non forcées, du système climatique, masquant ou exagérant les réponses du système au forçage anthropique croissant et aux forçages naturels.

Fig. 8 Réchauffement planétaire

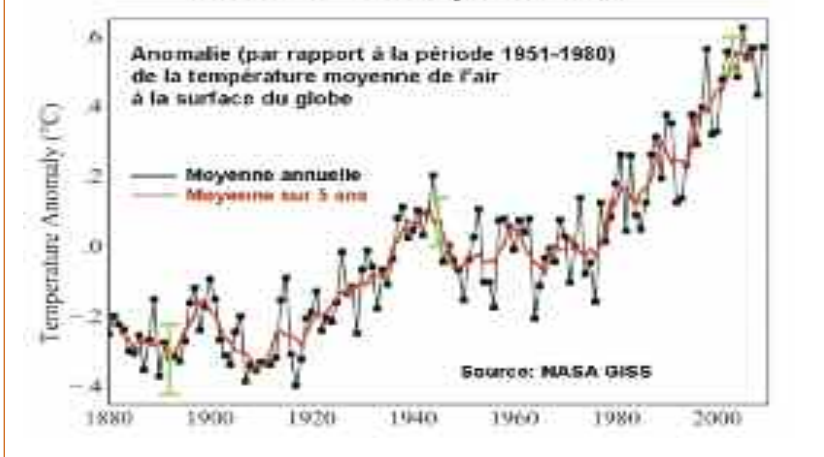
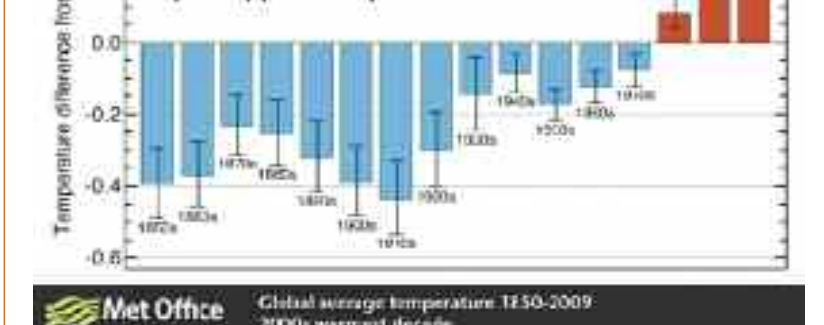


Fig. 9 La décennie 2000-2009 la plus chaude de toutes. Anomalie de température par rapport à la période 1961-1990



La recherche a bien de travail devant elle, pour réduire les incertitudes, pour mieux définir la stratégie nécessaire pour essayer d'éviter des changements climatiques inacceptables, ainsi que pour mieux préparer l'adaptation aux changements climatiques inéluctables.

Bonne lecture !

**Robert Kandel**  
 Directeur de recherche honoraire du CNRS  
 LMD/IPSL/Ecole Polytechnique