

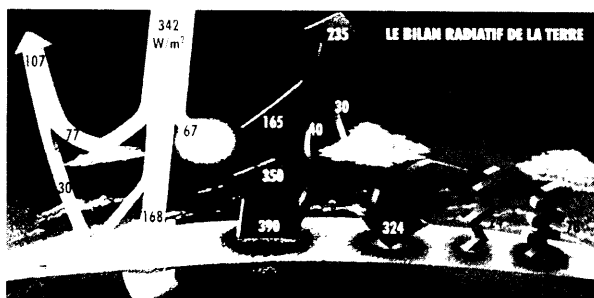
# Le changement climatique

Nicole Dhainaut, professeur des Universités honoraire, présidente de l'association des propriétaires dans la forêt de la Garenne de Brem à Brétignolles sur Mer, nous propose cette étude prospective.

Malgré leur importance, nous n'envisagerons pas ici les « trous » observés dans la **couche d'ozone**, événements dont on ne connaît pas encore toutes les origines mais qui semblent pouvoir être, au moins partiellement, jugulés grâce à l'arrêt de l'utilisation des fréons, des chlorofluorocarbures (CFC) en particulier. On notera toutefois que malgré la directive européenne du 1/01/02 obligeant les états à retirer ces polluants des appareils arrivés en fin de vie, les interventions en Grande-Bretagne et en France, par exemple, ne se mettent pas facilement en place....

Nous axerons cet exposé sur l'**effet de serre**, réalité très complexe qui mobilise actuellement beaucoup de chercheurs. Quoique s'appuyant encore, au moins partiellement, sur de simples estimations, plusieurs synthèses récentes apportent des éclaircissements non négligeables sur l'effet lui-même, ses origines naturelles et anthropiques, ses fluctuations, les menaces qu'il pourrait faire peser sur l'humanité, les moyens de lutte qui se mettent plus ou moins timidement en place (cf. bibliographie).

La figure 1 ci-après représente le **bilan radiatif** de la terre.



D'après LA RECHERCHE 356 Sept. 2002

La Terre reçoit 342 watts par mètre carré (W/m<sup>2</sup>) sous la forme de rayons lumineux provenant du Soleil.

Il s'agit d'une moyenne globale sur la surface terrestre: 1 m<sup>2</sup> perpendiculaire aux rayons solaires reçoit en fait 1 368 W/m<sup>2</sup> (1). Le système Terre - atmosphère ayant atteint un équilibre thermique, le bilan radiatif net est nul : au total 342 W/m<sup>2</sup> sont réémis.

Sur les 390 W/m<sup>2</sup> de rayonnement infrarouge émis par la Terre, 350 sont réabsorbés par les gaz à effet de serre et les nuages. L'atmosphère (avec les nuages) rayonne des infrarouges vers le sol pour 324 W/m<sup>2</sup>.

Le bilan radiatif n'est pas équilibré pour l'atmosphère, qui émet plus (195 + 324 = 519 W/m<sup>2</sup>) qu'elle ne reçoit (67+350 = 417 W/m<sup>2</sup>). Ce déficit radiatif est compensé par des flux de chaleur liés aux changements de phase de l'eau (évaporation-condensation) et à des mécanismes de conduction et de convection thermique. (D'après J.T. Kiehl et K.E. Trenberth, Bull. Am. Met. Soc., 78, 198, 1997.)

Elle permet aussi de comprendre le phénomène de l'effet de serre, apparu il y a fort longtemps, probablement en même temps que l'atmosphère.

L'observation de la figure montre aussi combien l'importance de cet effet de serre va dépendre non seulement du rayonnement solaire parvenu effectivement à la Terre mais aussi de la composition quelque peu variable de l'atmosphère : présence en plus ou moins grande quantité de **gaz à effet de serre (GES)**, d'aérosols... Des fluctuations importantes survenues dans l'effet de serre, à l'échelle de milliers, voire le plus souvent de millions d'années, ont pu être démontrées (doc. 3 et 4).

### Document 3 : PRINCIPAUX AGENTS NATURELS de l'EFFET de SERRE

	(1)	(2)	(3)
Vapeur d'eau	0,3 %	55%	2 semaines
CO <sub>2</sub>	0,037 % soit 370 ppmv	39%	
CH <sub>4</sub>	1,8 ppmv	2 % (a)	10 ans
N <sub>2</sub> O	0,3 ppmv	2 % (b)(c)	1 siècle
O <sub>3</sub>	0,03 ppmv	2%	

(1) : % dans l'atmosphère. (2) : estimation de la responsabilité de l'élévation de t°

(3) : estimation de la durée de vie dans l'atmosphère ppmv : une partie par million en volume est égale à 0,0001 %

(a) : pour chaque ppmv supplémentaire, CH<sub>4</sub> absorbe 43 fois plus de RI que le CO<sub>2</sub>

(b) : pour chaque ppmv supplémentaire, N<sub>2</sub>O absorbe 253 fois plus de RI que le CO<sub>2</sub>

(c) : N<sub>2</sub>O n'est repris ni par la biomasse, ni par les océans. Il est dégradé uniquement en haute atmosphère.

Des variations de l'ensoleillement (changement dans l'activité solaire, ou dans la position de la terre par rapport au soleil) constituent une des causes possibles, voire probables dans certains cas. Il y a 125.000 ans, par exemple, la teneur en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) était élevée mais inférieure à celle d'aujourd'hui. Pourtant la température (t°) et le niveau de la mer étaient respectivement supérieurs de 2°C et 7 m. Cependant, en étudiant la composition des bulles d'air emprisonnées dans les glaciers, certains auteurs ont aussi établi une très belle corrélation entre t° et teneur en certains GES (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> : méthane...) dans l'atmosphère. C'est le cas de deux chercheurs français, pionniers en la matière, qui ont étudié des carottes prélevées jusqu'à 3 967 mètres (et représentant 420.000 ans). **Claude Lorius et Jean Jouzel** viennent de recevoir conjointement la médaille d'or du CNRS, très haute distinction qui témoigne de l'importance de leur découverte.

Ainsi donc, l'effet de serre d'origine fort **ancienne** a, au cours des temps géologiques, présenté de **longues fluctuations** largement **corrélées avec des variations de teneur en GES** dues à des phénomènes naturels (volcanisme,...). Après le petit âge glaciaire survenu entre le XVIème siècle et 1820 environ, date à laquelle certains glaciers continentaux ont commencé à fondre, l'élévation de t° actuelle pourrait donc avoir une origine purement naturelle. Cependant, beaucoup de chercheurs travaillant dans des domaines variés, avec retour aussi vers le passé, ont établi avec certitude que la vitesse et l'importance des dérèglements observés de nos jours résultent pour une bonne part d'une action anthropique, particulièrement marquée depuis le début de l'ère industrielle. Le résultat en est une augmentation importante de la teneur atmosphérique en GES et aérosols qui aboutit à un **forçage radiatif**, c'est-à-dire à une augmentation du bilan radiatif de 3W/m<sup>2</sup> correspondant à environ 1% du flux solaire. Le processus est inquiétant, mais en principe réductible (doc. 3 et 4...).

Quoiqu'il soit encore impossible de faire une estimation très correcte de la part des activités humaines dans l'effet de serre, on sait maintenant que celle-ci s'est fortement renforcée depuis l'avènement de l'ère industrielle, vers 1850 (doc. 3 et 4...).

**Document 4 : INFLUENCE DE L'HOMME SUR LES CHANGEMENTS DU BILAN RADIATIF TERRESTRE depuis 1850 environ (« forçages » radiatifs)**

	(1)	(2)		(1)	(2)
CO <sub>2</sub>	+ 32%	+1,4W/m <sup>2</sup>	O <sub>3</sub> (t)	+35%	
CH <sub>4</sub>	+ 151%	+0,5W/m <sup>2</sup>	CFC	+	+ 0,35 W/m <sup>2</sup>
N <sub>2</sub> O	+16%		Aérosols	+	+ (certains)

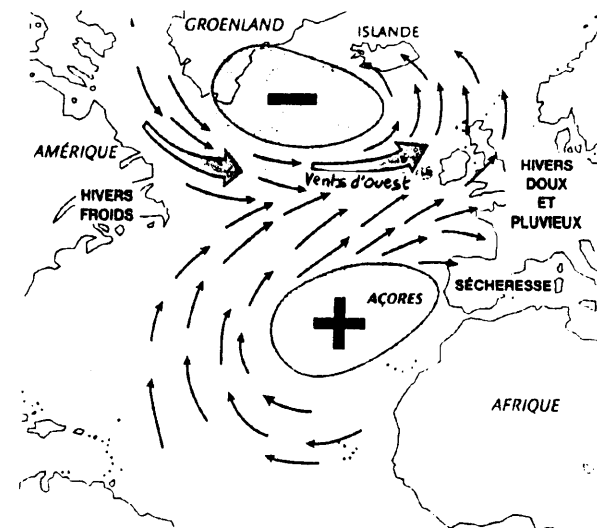
(1) : augmentation de la teneur atmosphérique

(2): forçage radiatif

O<sub>3</sub> (t) : O<sub>3</sub> troposphérique

CFC\* : uniquement d'origine anthropique : ils absorbent 10.000 fois plus les RI que le CO<sub>2</sub> : mais, en détruisant le O<sub>3</sub> stratosphérique, ils diminuent l'effet de serre de 0,1 W/m<sup>2</sup>

Par ailleurs, terre, océans et atmosphère formant finalement un système unique dans lequel les échanges, les interactions sont nombreuses, il est difficile d'en faire séparément l'analyse.



**Document 2 : Le « petit El Niño » ATLANTIQUE**

Un phénomène climatique surtout sensible en hiver. L'alternance d'hivers doux et froids ainsi que la fréquence des tempêtes sont gouvernées, sur l'Europe du Nord, par une oscillation océanique et atmosphérique analogue — mais moins violente — à celle qui, depuis le Pacifique équatorial, agit sur le climat de l'hémisphère Sud.

L'oscillation nord-atlantique est caractérisée par une grande différence de pression entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande.

Quand son Indice est positif, comme maintenant, le différentiel est maximal. Il provoque de forts vents d'ouest chargés d'humidité vers l'Europe du Nord et y fait régner des hivers doux et humides.

En revanche, sur la côte nord-est de l'Amérique, les hivers sont plus froids. Cet indice élevé correspond aussi à des tempêtes plus nombreuses et plus intenses.

Nul doute, cependant, que le forçage radiatif dont il a été fait mention ci-dessus ait des répercussions à la fois sur les éléments abiotiques et sur le monde vivant.

En ce qui concerne les premiers, il semble que l'élévation de  $t^{\circ}$  sera plus élevée dans l'hémisphère nord et qu'elle concernera surtout les continents. Il est aussi généralement admis que l'accroissement de la température va entraîner :

- une modification importante du régime des grands courants atmosphériques et océaniques (El Niño...), à l'origine possible de cataclysmes divers (cyclones, tempêtes, sécheresse, inondations,...)
- une augmentation de l'évaporation sur les continents et océans et, en retour, un accroissement de la pluviosité dans certaines régions (d'où inondations probables ou, au contraire, pour d'autres régions, élargissement des zones désertiques).
- dilatation des eaux des océans avec possibilité de montée des eaux sur les zones littorales avec pour conséquence, ici encore, inondations, perte de sols.
- fonte des glaces d'où possible montée non négligeable des eaux. Il convient de remarquer que, selon les cas envisagés, les résultats divergent. La plupart des glaciers continentaux semblent effectivement très menacés (par exemple ceux de l'Himalaya ou du Kilimandjaro. Toutefois, dans le cas du Kilimandjaro, la raison supposée en serait surtout une modification de la position de la terre par rapport au soleil.

Au contraire, et malgré des événements survenus sur quelques plates-formes, l'Arctique et l'Antarctique ne paraissent pas réellement atteints pour l'instant.

**Tous ces phénomènes induits auront des impacts sur le monde vivant**, en particulier sur les espèces continentales. **Perte de territoire, modifications des conditions de vie** dont une  $t^{\circ}$  plus élevée, par exemple, une humidité ou une sécheresse accrues, autant de facteurs qui auront une **influence plus ou moins forte sur la biodiversité, la répartition des organismes vivants** avec, pour corollaire, une éventuelle remontée vers le Nord de **maladies** telles que, par exemple, celles à transmission vectorielle (cas du paludisme, de la dengue.. ) mais aussi des allergies (dues au déplacement des végétaux allergènes), des coliques néphrétiques ou des maladies cardio ou cérébrovasculaires provoquées par l'accroissement de la température et de la sécheresse. Il convient aussi de souligner que certains aérosols, suies etc. peuvent avoir un rôle non négligeable dans le régime des pluies. Une autre menace importante est celle de voir s'accroître fortement le nombre « **d'éco-réfugiés** » fuyant des régions devenues inhabitables pour des raisons diverses.

L'augmentation rapide et inquiétante de l'effet de serre depuis les dernières décennies a eu pour conséquence **la mise en place de nombreuses recherches portant sur les 3 grands compartiments que constituent la Terre, les océans, l'atmosphère.**

Des techniques anciennes et / ou devenues classiques (abris météorologiques, indicateurs biologiques, étude des bulles d'air emprisonnées dans les glaces parfois millénaires...) fournissent continuellement des données de plus en plus précises. Les grands progrès technologiques en matière d'études spatiales constituent d'autres volets fort nombreux et fort diversifiés pour l'acquisition de données de plus en plus performantes. Grâce à l'informatique et en particulier à l'élaboration de supercalculateurs tels que ceux de la Météopole de Toulouse, le **traitement de données** parvenues du monde entier apporte une connaissance des phénomènes passés et présents. Il permet aussi **l'élaboration de modèles**, eux aussi de plus en plus fiables, tels que MOZART (modèle pour l'ozone et éléments apparentés), ARPEGE et celui de l'IPSL pour les prévisions relatives à l'effet de serre.

Ce qui est particulièrement remarquable, c'est l'importance des échanges favorisant la mise en place de **grands programmes d'études communs** à l'échelle d'une nation (CNES, CNRS, NASA, NOAA) mais bien plus encore à l'échelle internationale (ESA, IPCC, GLIMS, IGOS...). Cette **mise en commun technologique** favorise grandement l'acquisition et l'interprétation de résultats dont l'importance doit (devrait ?) permettre aux instances concernées de prendre les décisions qui s'imposent.

**En conclusion**, même s'il est encore très difficile de connaître avec certitude les pourcentages de responsabilité respectifs des événements d'origine naturelle et anthropique, **la participation humaine dans les bouleversements climatiques semble maintenant bien établie**. Modification des macro et mésoclimats, exacerbation des phénomènes. C'est ainsi, par exemple, que le Figaro (18/10/02), et Le Monde (18/10/02) titrent respectivement : «Paris : chronique d'une crue annoncée» et «Météo France se prépare au grand changement climatique» (doc 2 et 5)

Doc 5 : <i>Des estimations de réchauffement revues à la hausse</i>	prévision 1995	prévision 2000
Hausse des températures moyennes en 2100 par rapport à 1990	1 à 3,5 °c	1,5 à 6 °c
Concentration de CO <sup>2</sup> dans l'atmosphère en 2100	500 parties / million	540 à 970 ppm
Élévation du niveau de la mer en 2100 par rapport à 1990	0,15 à 0,95 m	0,14 à 0,80m
Hausse de la température du globe entre 1860 et 2000	0,3 à 0,6 °c	0,4 à 0,8 °c

**Les menaces** à relativement court terme sont donc bien réelles. Même si les prévisions demeurent quelque peu aléatoires en raison, par exemple, des nombreuses interactions possibles, il n'en reste pas moins vrai qu'il est urgent que soit appliqué, à l'échelle planétaire, le Principe de précaution.

**Des solutions** existent déjà. D'autres, plus performantes encore, devraient pouvoir être trouvées et surtout appliquées prochainement :

- modifications de certaines activités industrielles, agricoles, etc.
- amélioration technologique dans des domaines très variés
- meilleure gestion et prévention des risques, avec développement d'études scientifiques ou autres
- ratification et application du Protocole de Kyoto
- application des textes réglementaires, des normes...

Toutes ces démarches s'inscrivent dans celle du **Développement durable**, thème du **Sommet de Johannesburg** (26 au 4 septembre 2002). Ainsi, «Au lieu de continuer à signer des millions de déclarations vertueuses, des traités, des lois et des décrets pour **protéger l'environnement ou promouvoir le bien-être des peuples**, les hommes feraient mieux de les appliquer, et surtout, **de lier entre eux ces deux objectifs pour n'en faire qu'un seul : un développement durable**. Tout simplement ». (Science et Vie, Spécial Terre, septembre 2002).

Dans le contexte actuel (cf., par exemple, les bilans de Johannesburg et de New Delhi, ceci, hélas, paraît encore bien utopique à l'échelle de la Planète, malgré certains efforts réalisés localement, régionalement, voire au niveau d'une Nation.

**Principales abréviations** Doc : document ; F : Journal Le Figaro ; M : Journal Le Monde ; CNES Centre National d'Etudes Spatiales (France) CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique ; ESA : Agence Spatiale Européenne ; GIEC : sigle français de IPCC ; GLIMS: Global land ice measurements from space ; IGOS : Integrated global observing strategy (1998) ; regroupe des agences spatiales, des instituts scientifiques, des organisations internationales telles que l'UNESCO ; IPCC : Groupement intergouvernemental sur le changement climatique ; IPSL : Institut Pierre-Simon Laplace ; NASA(1958) : National Aeronautics and Space Administration ; NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration ; N<sub>2</sub>O : protoxyde d'azote ; RI : rayonnement infrarouge PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

**Bibliographie** : Principales synthèses consultées (liste non exhaustive)

- Environnement, Risque et Santé. Vol 1, n°2, mai-juin 2002 (législation- Décret 2002-213 du 15/02/02).
- Id. Vol. 1, n° spécial 1, juillet 2002 (changement climatique et maladies à vecteurs)
- Journal Le Monde (13/11/02) Climat : vers un changement majeur ? Article d'Edouard Bard.
- La Recherche. n°356, septembre 2002. L'effet de serre.
- Id. n°358, novembre 2002. Les pôles fondent-ils vraiment ?
- Sciences et Vie n°1016, mai 2002. Palmarès des gaz à effet de serre.
- Id. Spécial Terre n°1020, septembre 2002. La planète est-elle vraiment malade ?