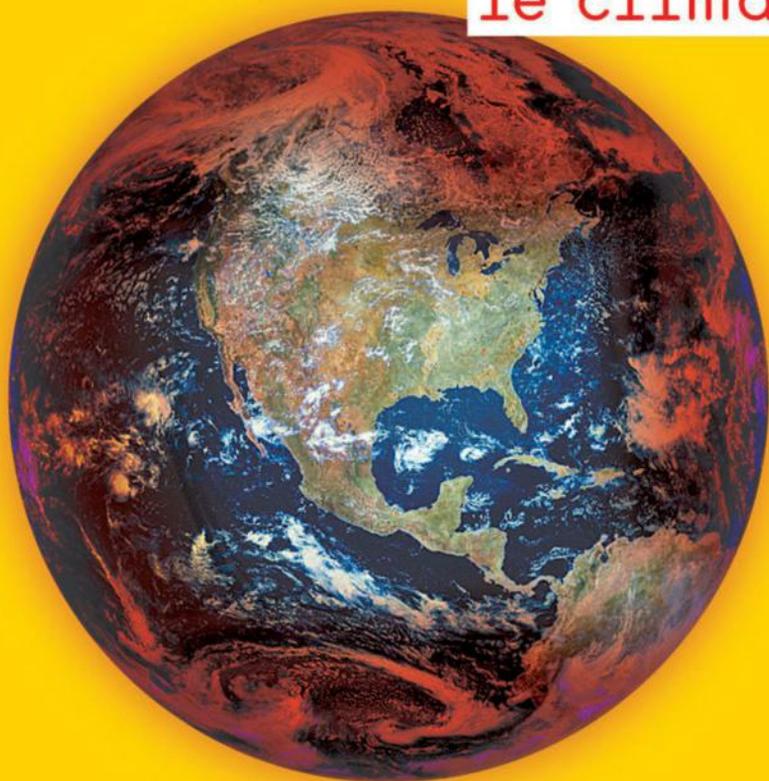


HERVÉ
LE TREUT

JEAN-MARC
JANCOVICI

L'effet de serre

Allons-nous changer
le climat?



Champs sciences

Extrait de la publication

HERVÉ LE TREUT JEAN-MARC JANCOVICI

L'effet de serre

Depuis l'apparition de la vie, l'homme est la première espèce en mesure de bouleverser les conditions climatiques régnant sur la Terre. D'ici moins d'un siècle, l'augmentation de l'effet de serre, conséquence d'un usage croissant de l'énergie, est susceptible de provoquer un réchauffement sans précédent de notre planète.

Mais qu'est-ce que l'effet de serre ? Quelles sont les activités émettrices de gaz à effet de serre ? Les prévisions sont-elles fiables ? Est-il possible d'estimer les conséquences de ce changement climatique et de gérer les risques encourus ? Et enfin, que faire si nous jugeons cette évolution inacceptable et si nous voulons décider de notre avenir ?

Projetés au cœur d'un débat de société d'une ampleur inédite, les chercheurs sont partagés entre une nécessaire prudence, la science n'ayant pas encore de réponse évidente aux problèmes qu'elle soulève, et un sentiment d'urgence, car pour modérer une évolution déjà largement inéluctable, aux impacts considérables, c'est dès à présent qu'il faut agir.

Jusqu'où allons-nous changer le climat ?

Hervé Le Treut est directeur de l'Institut Pierre Simon Laplace et membre de l'Académie des Sciences ; spécialiste de la modélisation du climat, il a participé aux rapports du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Jean-Marc Jancovici, consultant et enseignant, est spécialisé dans les calculs d'émission de gaz à effet de serre et dans les usages de l'énergie. Il est notamment l'auteur de *Le plein, s'il vous plaît ! La solution au problème de l'énergie* (Seuil, 2006).

En couverture : Image satellite de la Terre.
© Getty Images/Kevin Morgan.

Flammarion

L'EFFET DE SERRE

Allons-nous changer le climat ?

De Jean-Marc Jancovici

L'Avenir climatique. Quel temps ferons-nous ?, Seuil, 2002 ;
rééd. 2005.

Le plein, s'il vous plaît ! La solution au problème de l'énergie,
Seuil, 2006 ; rééd. 2007.

Le Changement climatique expliqué à ma fille, Seuil, 2009.

C'est maintenant ! 3 ans pour sauver le monde (avec Alain
Grandjean), Seuil, 2009.

© Flammarion, Paris, 2004.

ISBN : 978-2-0812-6276-8

Extrait de la publication

Hervé Le Treut
Jean-Marc Jancovici

L'EFFET DE SERRE

Allons-nous changer le climat ?

Champs sciences

AVANT-PROPOS

Depuis quelques années, la perspective d'un dérèglement climatique cristallise de plus en plus de craintes. La canicule qui a affecté l'Europe pendant l'été 2003, avec son cortège d'effets, dramatiques ou mineurs, a probablement constitué un nouveau seuil dans la prise de conscience collective, et ce jusque dans la communauté scientifique. Pourtant, les travaux publiés depuis plusieurs années sont clairs : selon la très grande majorité des chercheurs, la croissance des gaz à effet de serre dans l'atmosphère rend inéluctable un réchauffement global de la planète. Réchauffement qui est amené à se manifester notamment par des crises climatiques, sporadiques d'abord, puis de plus en plus fréquentes.

Si certains effets à venir demeurent par nature imprévisibles, ou tout au moins très difficilement prévisibles, d'autres sont déjà bien évalués. Ainsi, diverses publications scientifiques ont mis

en évidence le risque de surmortalité due à des épisodes caniculaires en Europe, la surmortalité étant l'une des conséquences les plus directes d'une brusque augmentation des températures. Comment se fait-il alors que la surprise ait semblé si grande dans notre pays ? Ces vagues de chaleur successives relevaient bel et bien du possible, quelles que soient leurs causes – la notion même de cause est ambiguë s'agissant d'un événement météorologique ponctuel. Pourquoi la parole des scientifiques et des experts n'a-t-elle pas mieux porté jusqu'à présent ? La complexité des évolutions en cours, la multiplicité des enjeux et des intérêts troublent sans doute l'appréhension du problème et sa communication.

Depuis le Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, un effort international s'est engagé en faveur de la préservation de notre environnement, avec notamment la mise en place de la Convention Climat (de 1992 à 1994) et la définition d'objectifs chiffrés de réduction des émissions de gaz à effet de serre par le protocole de Kyoto (1997). Les débats sur sa ratification, loin d'être achevés, ne représentent au contraire que les premières étapes de négociations dont les difficultés sont à la mesure de l'importance et de la nécessité. Tout montre en effet que si des changements sont désormais inéluctables, il est

encore possible d'en atténuer – ou, hélas, d'en augmenter – la vitesse et l'intensité, à travers les choix de développement que nous faisons dès maintenant.

Mais, dès qu'on discute des mesures concrètes à prendre, les certitudes scientifiques, qui permettent de donner l'alerte et de définir un cadre global d'intervention, ne suffisent plus pour répondre à des questions plus précises. À quel niveau doit-on limiter nos émissions ? Jusqu'où un changement climatique est-il « acceptable » ? Quel peut être son coût, humain et financier ? Comment peut-on comparer les impacts respectifs des activités qui contribuent à la « pollution climatique » (l'élevage ou les transports, par exemple) ? Comment apprécier et comparer les différentes formes d'action, individuelle ou collective, qui s'offrent à nous ?

Si la science et les scientifiques ont une part importante à tenir dans le débat, les décisions à prendre concernent l'ensemble de la société. L'augmentation de l'effet de serre remet en question des schémas de croissance, de consommation, et peut accentuer les déséquilibres entre pays du Nord et pays du Sud : c'est donc un enjeu qui dépasse la science, où l'expertise scientifique ne peut se substituer aux choix politiques et citoyens. L'évolution potentielle du climat

pose la question du comportement que nous devons adopter face au risque, celle des décisions à prendre, qui sont souvent de nature éthique, sentimentale autant que politique (quel « prix » accordons-nous à la préservation d'un paysage et à la joie de vivre qu'il peut procurer ? aux éventuels risques sanitaires ? au fait d'avoir une voiture par adulte ?), et vont donc bien au-delà d'un arbitrage purement technique.

Depuis longtemps, l'environnement de notre planète est l'objet d'inquiétudes, mais jamais sans doute il n'a suscité une réflexion de cette ampleur. Le rôle de la science est à la fois d'alerter, ce qui oblige à une prise de position forte, et d'éclairer le débat, sans jamais toutefois le confisquer. Pour associer chaque citoyen à la discussion, les scientifiques doivent au contraire rendre compte le plus clairement possible des progrès réguliers des connaissances, mais aussi de l'incapacité dans laquelle ils se trouvent à tout prévoir dans le détail. Dans ce contexte, il n'est pas toujours facile de tracer la limite, pourtant nécessaire, entre le diagnostic scientifique, le plus objectif possible, et le désir militant de convaincre à tout prix.

Pour permettre à l'ensemble de la société de s'emparer du problème, tout en évitant malentendus et faux débats, le meilleur remède est

AVANT-PROPOS

celui du partage le plus large de l'information disponible. Ce livre, à sa mesure, n'a pas d'autre ambition que d'y contribuer : les auteurs ont essayé de rendre accessibles au plus grand nombre les principales composantes du dossier scientifique et technique, afin que chacun puisse se forger, de manière éclairée, son avis sur la conduite à tenir pour le présent et l'avenir.

La première fois qu'apparaît un mot relevant d'un vocabulaire spécialisé, il est suivi d'un *. On trouvera sa définition dans le glossaire.

LE CLIMAT, UNE MACHINE COMPLEXE EN PERPÉTUELLE ÉVOLUTION

La Terre a ceci d'unique, parmi les planètes que nous connaissons, que l'eau y est disponible à sa surface sous ses trois phases, liquide, solide et vapeur, et cette caractéristique semble présente aussi loin que l'on sache remonter dans le temps, à l'échelle de centaines de millions, voire de milliards d'années. Malgré cette apparente stabilité, l'environnement global de notre planète constitue un ensemble complexe et fluctuant. Les océans, l'atmosphère, les grands glaciers, la banquise, la surface continentale interagissent continuellement à travers divers processus physiques, chimiques ou biologiques. C'est cet ensemble que l'on appelle « système climatique » et de son évolution dépend le climat, c'est-à-dire les conditions moyennes de température, de vent, de précipitations ou d'humidité auxquelles nous sommes confrontés, ainsi que leurs variations les plus régulières, tel le cycle des saisons. La notion de climat (définie à

partir de statistiques sur une période longue, souvent de trente ans) se distingue ainsi très clairement de la notion de temps, qui recouvre les conditions atmosphériques d'une journée donnée.

Deux grandes forces entraînent les éléments du système climatique dans un mouvement sans fin : la rotation de la Terre et l'énergie du Soleil. Le mot climat fait d'ailleurs directement référence au rôle du Soleil, puisqu'il signifie en grec « inclinaison », en l'occurrence celle de l'axe des pôles sur le plan de l'orbite terrestre.

Pourquoi notre planète est-elle tempérée et qu'est-ce que l'effet de serre ?

Tout corps chaud émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique*, dont l'intensité et la longueur d'onde dépendent de la température du corps émetteur. Le rayonnement du Soleil représente ainsi la principale source de chauffage de notre planète. La Terre, quoique plus froide que le Soleil, émet elle aussi un rayonnement électromagnétique. Pour atteindre un état d'équilibre, le rayonnement terrestre doit restituer une énergie égale à celle du rayonnement solaire absorbé, ce qui détermine

la température de la Terre. En effet, la Terre doit ajuster sa température pour que son rayonnement propre, qui augmente avec cette dernière, équilibre l'énergie reçue. La chaleur dégagée par le centre de la Terre, qui résulte de la radioactivité naturelle, est très largement négligeable dans ce processus.

La température d'émission détermine aussi la gamme de longueurs d'onde du rayonnement émis, et il en résulte que les rayonnements solaire et terrestre sont très différents. La température de la surface solaire est d'environ 6 000 degrés Kelvin*, et le rayonnement solaire se situe dans des longueurs d'onde qui vont de l'ultraviolet* à l'infrarouge* proche. La surface de la Terre est beaucoup plus froide que celle du Soleil (15° Celsius en moyenne, soit 288 Kelvin), et le rayonnement qu'elle émet se situe dans l'infrarouge plus lointain.

Tous les échanges d'énergie entre notre planète et l'espace passent par le filtre de l'atmosphère. Cette dernière constitue une enveloppe très mince dont l'essentiel de la masse se concentre sur une vingtaine de kilomètres d'épaisseur (le rayon de la Terre est de 6 400 kilomètres) et joue un rôle essentiel dans la distribution et la transformation de l'énergie reçue du Soleil. En particulier, l'atmosphère agit très différemment sur

le rayonnement solaire et le rayonnement terrestre : alors qu'elle laisse entrer une grande part du premier, elle empêche de s'échapper une grande part du second. Cette différence est à l'origine de l'effet si particulier qui donne son titre à ce livre : l'effet de serre, ainsi appelé par analogie avec ce qui se passe dans une serre de jardinier, ou plus communément peut-être dans une voiture laissée au soleil. L'atmosphère est en effet comparable à un vitrage, transparent pour le rayonnement solaire visible, mais opaque pour le rayonnement infrarouge. La chaleur s'accumule alors dans les basses couches de l'atmosphère, un peu comme elle s'accumule à l'intérieur de la serre ou de la voiture.

L'effet de serre naturel est très fortement bénéfique pour la planète : en son absence, la température moyenne de la surface serait de -18°C , et non de 15°C . Cet effet si important est dû presque exclusivement à des gaz qui ne constituent qu'un très faible pourcentage ($< 1\%$) du volume de l'atmosphère : vapeur d'eau, dioxyde de carbone (CO_2), ozone, méthane, notamment. C'est cette dépendance absolument remarquable de notre atmosphère vis-à-vis de composés minoritaires qui la rend potentiellement très vulnérable aux effets de l'activité humaine.

Les variations de l'effet de serre ont joué un rôle important dans l'histoire de la Terre, comme nous le verrons au chapitre II. Ainsi, l'un des principaux gaz à effet de serre, le CO₂, a d'abord été un constituant majoritaire de notre atmosphère, mais l'apparition de la vie a conduit à sa diminution progressive (au cours du dernier milliard d'années) – le carbone correspondant étant stocké dans des roches sédimentaires ou sous forme de charbon et de pétrole. Cette baisse aurait dû provoquer un refroidissement de la Terre. Mais, dans le même temps, le Soleil a augmenté sa puissance, et c'est probablement la conjonction de ces deux évolutions qui explique la relative stabilité de la température moyenne que nous avons signalée au début de ce livre.

Cet effet de compensation, où la vie joue un rôle de régulateur des conditions climatiques, a parfois été invoqué pour suggérer que la planète aurait la capacité de maintenir son équilibre face aux agressions humaines. Mais, si l'on veut comprendre ce qui peut se passer à l'horizon beaucoup plus court des décennies à venir, ces idées simples, déduites de l'observation de l'histoire de la Terre sur des milliards d'années, ne suffisent plus. Certes, le climat de la planète n'a jamais varié suffisamment pour menacer le déve-

loppement de la vie sur Terre, mais certaines fluctuations ont malgré tout marqué fortement l'histoire de nos paysages, de la faune et de la flore qui les habitent, ainsi que des premiers hommes. Pour raconter cette histoire, il nous faut d'abord étudier le système climatique dans toute sa complexité, avec ses différentes sous-composantes du système climatique et les processus qui les lient.

Le Soleil nous envoie une énergie qui varie au cours du temps

L'intensité du chauffage solaire se mesure à l'aide d'une valeur qu'on appelle souvent « constante solaire » et qui désigne la densité de puissance du rayonnement solaire incident, c'est-à-dire le nombre de watts qui traversent une surface d'un mètre carré placée au sommet de l'atmosphère, perpendiculairement à la direction Terre-Soleil, soit aujourd'hui environ 1 365 watts, ce qui veut dire que l'intensité du flux solaire est de 1 365 watts par mètre carré (Wm^{-2}). En fait, la surface de la Terre est inclinée par rapport au flux solaire et le rayonnement arrive sous une incidence rasante près des pôles. De plus, une moitié de la planète est toujours plongée dans la nuit. Il en résulte que, en moyenne, sur une journée et sur

le globe, ce rayonnement ne vaut que 345 Wm^{-2} (quatre fois moins).

Le chauffage solaire varie au cours du temps, en raison des fluctuations de l'activité solaire elle-même (dont témoignent par exemple le nombre de taches solaires ou le diamètre apparent du Soleil) ou des variations de la distance Terre-Soleil. Par exemple, l'étude d'étoiles comparables au Soleil montre qu'au début de l'histoire de la Terre la puissance de notre astre devait être plus faible de plusieurs dizaines de pour-cent. En outre, la distance Terre-Soleil, ainsi que la rotation de notre planète (autour d'un axe des pôles qui se déplace lentement) varient continuellement, sous l'effet de l'attraction de la Lune ou des planètes géantes. La Terre décrit par ailleurs une ellipse légèrement aplatie autour du Soleil. L'excentricité* de cette ellipse, c'est-à-dire la mesure de cet aplatissement par la différence relative des deux axes de l'ellipse, est actuellement de 1,7 % – elle a fluctué entre 0 et 3 % avec une périodicité approximative de 100 000 ans. Aujourd'hui, la Terre est au plus loin du Soleil en juin-juillet, au plus près en décembre-janvier, ce qui adoucit les contrastes saisonniers dans l'hémisphère Nord. Mais il n'en a pas toujours été ainsi. Comme nous le verrons plus loin, l'intervalle entre le moment où la

Terre se trouve au plus près du Soleil et le moment des équinoxes* a varié au cours du temps, avec une périodicité de 20 000 ans à peu près : c'est ce que l'on appelle la précession des équinoxes. Il y a 10 000 ans, donc, l'ensoleillement reçu en été sur l'hémisphère Nord était au contraire maximal, avec des conséquences très importantes en Afrique ou dans les régions de mousson. Les variations de l'obliquité* de l'axe de rotation de la Terre (périodicité d'environ 40 000 ans) ont aussi fortement affecté le climat des régions polaires (voir p. 49). Plus près de nous, la diminution d'activité du Soleil constitue une explication plausible pour la période froide des XVII^e et XVIII^e siècles, appelée « petit âge glaciaire ». L'astronome allemand Walter Maunder a en effet observé une disparition des taches solaires au cours d'une période de soixante-dix ans (1645-1715), appelée le « minimum de Maunder » ; or on sait que l'émission solaire est plus faible lorsque le nombre de taches baisse. Les mouvements internes au Soleil provoquent aussi des variations de l'énergie émise sur des périodes plus courtes : l'impact réel de ces fluctuations au cours des XIX^e et XX^e siècles demeure un objet de débat dans la communauté scientifique. Il est très possible qu'elles aient joué un rôle dans le réchauffement

TABLE DES MATIÈRES

La mesure directe des émissions est impossible	142
Les puits de carbone peuvent-ils compenser les émissions ?.....	146
Tous les pays sont-ils égaux ?	149
Toutes nos activités sont-elles en cause ?	152
Zoom sur la France : que recouvrent nos émissions ?	156
Les marges de manœuvre	163
Réduire, mais jusqu'où ?.....	163
La technologie peut-elle nous aider ?	166
La réduction des émissions pénaliserait-elle l'économie ?.....	187
Le futur sera-t-il ce que nous en ferons ?	191
Comment travaillent les experts ?	191
Faut-il croire le GIEC ?	193
Le déséquilibre entre pays riches et pays pauvres	199
Changement climatique <i>et</i> politique ?.....	201
Les négociations internationales peuvent-elles aboutir ?	203
Conclusion	207
Glossaire	211
Bibliographie	217
Sites internet	219

*Achévé d'imprimer en février 2009
sur les presses de l'imprimerie Maury-Imprimeur
45330 Malesherbes*

N° d'édition N.01EHQN000247.N001
Dépôt légal : février 2009
N° d'impression : 02/09/144333

Imprimé en France

Extrait de la publication