



Géophysique externe, climat et environnement (Climat)

Effet de serre, impacts et solutions : quelle crédibilité ?

The greenhouse effect, impacts and possible solutions: overall credibility?

Avant-propos

La température moyenne d'une planète isolée dans l'espace, comme notre Terre, résulte de l'équilibre entre l'énergie du rayonnement solaire visible qu'elle absorbe et celle du rayonnement infrarouge qu'elle émet. Cette dernière émission est d'autant plus importante que la température de la planète est plus élevée. Si on ajoute dans son atmosphère un gaz susceptible d'absorber le rayonnement infrarouge qu'elle émet, sa température va croître pour compenser cette absorption. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre. L'utilisation massive des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) conduit à brûler 6,3 milliards de tonnes de carbone par an, qui sont envoyés dans l'atmosphère sous forme de gaz carbonique CO₂. On observe effectivement que la concentration atmosphérique du gaz carbonique croît de 0,5% par an, en moyenne, depuis 1958, date du début des mesures systématiques. Chaque année, la quantité de carbone présente dans l'atmosphère sous forme de CO₂ augmente donc de 3,3 milliards de tonnes. Ce gaz absorbant l'infrarouge, il doit nécessairement en résulter un réchauffement climatique créé par les activités humaines.

L'atmosphère de la Terre contient naturellement du gaz carbonique depuis bien longtemps, et l'effet de serre correspondant lui a donné une température supérieure d'une trentaine de degrés à ce qu'elle serait en l'absence de ce gaz. C'est donc cet effet qui a permis le développement des formes de vie qui nous sont familières. La planète Vénus est plus chaude de quelques

Foreword

The average temperature of a planet in space vacuum, such our Earth, is determined by the balance between the energy of the absorbed part of the incoming visible solar radiation and the energy of its emitted infrared radiation. This infrared radiation increases when the planet's temperature increases. If its atmosphere contains a larger amount of a gas absorbing the infrared radiation, its temperature increases to compensate this absorption of energy. This phenomenon is called 'Greenhouse Effect'. The large use of fossil fuels (coal, oil, gas) corresponds to a yearly carbon burning of 6.3 billions of tons, which are sent into the atmosphere, as carbon dioxide CO₂. The carbon dioxide concentration growth is nowadays observed to be 0,5% per year on the average since year 1958, when systematic accurate measurements have been performed. The corresponding yearly increase of carbon content of the atmosphere is 3.3 billions tons. As the carbon dioxide absorbs infrared radiations, a global warming must result from human activities.

The Earth's atmosphere has contained carbon dioxide for many millennia and its temperature has been accordingly larger by some 30 degrees Celsius than it would have been in the absence of any CO₂. This greenhouse effect is responsible for the existence of familiar forms of life. Planet Venus is warmer than the Earth by some hundreds of degrees, while planet Mars is cooler by some 100 degrees. These differences can be explained only when accounting for

centaines de degrés que la Terre, et la planète Mars plus froide d'une centaine de degrés. Ces différences observées ne peuvent être expliquées qu'en prenant en compte la quantité de CO₂ contenue dans leur atmosphère, qu'on a mesurée de façon fiable. L'effet de serre est naturellement présent dans la nature et n'a rien de nocif en soi. En revanche, les hommes ne peuvent changer impunément la composition de l'atmosphère de leur planète, sans en modifier le climat. Dans la pratique, on désigne souvent cet effet de serre additionnel sous le vocable abrégé « d'effet de serre », alors qu'on devrait, en toute rigueur, parler d'effet de serre additionnel provoqué par les émissions liées aux activités humaines.

Les estimations quantitatives du changement climatique, de ses conséquences et des possibilités d'en limiter l'amplitude sont entachées d'erreurs d'origines diverses, qui conduisent à s'interroger sur les limites des projections sur l'avenir qui peuvent en être faites. C'est l'objet du présent numéro thématique, qui reprend un certain nombre des contributions faites lors du colloque *Effet de serre, impacts et solutions : quelle crédibilité ?*, qui s'est tenu à l'Académie des sciences, à Paris, du 16 au 18 septembre 2002.

L'article de Jean-Claude André [1] est consacré à une présentation générale des diverses incertitudes susceptibles d'affecter les modèles climatiques et leurs conséquences sur la crédibilité des changements climatiques annoncés. Jean Jouzel [6] analyse les enseignements qu'on peut tirer des variations du climat au cours des derniers 400 000 ans (qui n'étaient certes pas toutes dues aux activités humaines) sur le fonctionnement du système climatique. Les émissions de gaz à effet de serre et leurs conséquences climatiques sont étudiées par Hervé Le Treut [9], qui analyse les marges d'incertitude, liées pour moitié environ à la difficulté d'apprécier les futures émissions de gaz à effet de serre et pour moitié à la difficulté qu'ont les modèles à représenter certains processus majeurs, comme les nuages, la couverture neigeuse ou le rôle de la végétation dans les échanges sol-atmosphère. Le problème devient encore plus difficile si on cherche à déterminer ce qui se produira dans une zone géographique limitée (Serge Planton, [12]). Il faut prendre en compte, par exemple, le gradient de température au-dessus de l'Atlantique, intervenant sur la position du rail des dépressions et sur la fréquence et l'intensité des tempêtes affectant nos côtes. Une autre incertitude est liée aux

the amount of CO₂ in their atmospheres, which has been reliably measured. Greenhouse effect is a natural phenomenon and is not harmful *per se*. Nevertheless, mankind cannot change the composition of the Earth's atmosphere, without changing the climate of their planet. Usually this additional greenhouse effect is called 'greenhouse effect' for simplicity, while the correct phrasing should be 'additional greenhouse effect due to antropogenic emissions'.

Quantitative estimates of the climate change, of its impacts and of the possible mitigation of its amplitude are affected by various uncertainties that limit the value of the projections for the future. This special issue is devoted to this general topic; it includes contributions presented in a colloquium held in the French Academy of Sciences, Paris, from 16 to 18 September 2002.

Jean-Claude André's paper [1] is devoted to a general presentation of all kinds of uncertainties that likely affect climate models and their impacts on the incredibility of the projected climate changes. Jean Jouzel [6] discusses the lessons from observations of the variations of the climate of the past during the last 400 000 years, which were not all due to human activities, on the climate system's behaviour. The greenhouse gases emissions and their climatic impacts are discussed by Hervé Le Treut [9], who studies the uncertainty brackets, due 'fifty fifty' to the difficulty of guessing future emissions and to the ability of models to reproduce some major processes such as clouds, snow cover or vegetation role in the ground atmosphere exchanges. The problem is harder, when attempting to describe the behaviour of a limited area (Serge Planton, [12]). The temperature gradient over the Atlantic Ocean has to be taken into account: it affects the depression path and the frequency and intensity of the storms on our coasts. A farther uncertainty is linked with the imprecise emissions models of gas and particles (aerosols), which are too short-lived to diffuse far from their origin. Claude Lorius [10] concludes this first series of papers by comparing the imperfections of knowledge and of risk perception.

Climate changes impact the marine ecosystems. Jean-Yves Georges and Yvon Le Maho [4] discuss the pelagic ecosystems and the insular systems. The coastal zones are studied by Lucien Laubier [7], who shows that, more than the sea level rise, the water-

imprécisions sur les scénarios d'émission de gaz et de particules (aérosols) à durée de vie trop courte pour pouvoir se diffuser loin de leur source. Pour conclure cette première série d'articles, Claude Lorius [10] rapproche les lacunes du savoir de celles de la perception du risque climatique.

Les changements climatiques ont une influence sur les écosystèmes marins. Jean-Yves Georges et Yvon Le Maho [4] se sont intéressés aux écosystèmes pélagiques et aux systèmes insulaires. Les zones côtières sont étudiées par Lucien Laubier [7], qui montre que, plus que l'élévation du niveau de la mer, ce sont l'élévation de la température moyenne des eaux et l'accroissement de la teneur en dioxyde de carbone qui affecteront les peuplements marins côtiers : de nouvelles espèces sont déjà apparues en Méditerranée, alors que les sardines californiennes et japonaises ont vu leur nombre s'effondrer.

Bernard Seguin [14] évalue les impacts prévisibles sur les divers types de production agricole. Cependant, cette première génération de prévisions demande à être complétée par la prise en compte des maladies, des parasites et des plantes adventives. L'adaptation des systèmes de culture et de récolte est étudiée sous l'angle statique et sous l'angle dynamique. Enfin, il est souligné que le souci de limiter les émissions d'oxyde nitreux, de méthane et de gaz carbonique pourraient constituer des objectifs capables de réorienter la production. Michel Robert et Bernard Saugier [13] étudient quantitativement les stocks et les flux de carbone concernant les sols et la biomasse. L'évolution possible des puits de carbone et la possibilité de les accroître par des actions volontaristes est également discutée.

Les émissions de gaz carbonique injectent dans l'atmosphère 8 Gt de carbone par an, quantité qui pourrait atteindre 15 à 20 Gt dans la seconde moitié du siècle, entraînant un réchauffement inacceptable de notre planète (Bernard Tissot, [15]). Les demandes les plus difficiles à satisfaire, dans la double perspective de l'épuisement des ressources en pétrole et en gaz, sont la fourniture d'électricité aux grandes agglomérations et celle des carburants pour les transports. Seule l'énergie nucléaire est capable de répondre dès maintenant au premier besoin et, via l'hydrogène, pourrait apporter une contribution au second. Cependant, ce type d'énergie se heurte à des obstacles qui sont analysés par Pierre Bacher [2], ainsi que les nouvelles voies

temperature average increase and the carbon-dioxide concentration affect the coastal populations: new species have been observed in the Mediterranean Sea, while the number of Californian and Japanese sardines dramatically dropped down.

Bernard Seguin [14] examines the likely impacts on various agriculture products. However, the first generation of projections have to be complemented by taking into account pest, diseases and self-propagating plants. From a static or a dynamic point of view, adaptation of cultivates and of harvesting practices looks different. Moreover, the limitation of nitrous oxide, methane and carbon dioxide emissions could lead to the reorientation of the productions. Michel Robert and Bernard Saugier [13] analyse quantitatively the carbon stocks and fluxes in/between soils and biomass. The natural evolution of carbon sinks and the feasibility of increasing them on purpose are also discussed.

The carbon dioxide emissions inject into the atmosphere 8 Gt carbon per year and this quantity could grow up to 15–20 Gt during the second half of the century and induce an unacceptable warming of our planet (Bernard Tissot, [15]). Taking into account both the limited oil and gas resources and the anthropogenic climate change, the most demanding needs are supplying the major cities with electricity and transportation with fuel. Nuclear energy only is presently able to fulfil the first need, and through hydrogen use, could in the future fulfil the second one. Nevertheless, this type of energy induces reservations that are analysed by Pierre Bacher [2] as well as the new paths worth exploring, such as fast-neutron and high-temperature reactors. The overwhelming use of fossil fuels and the slow pace of industrial evolutions suggest in the short term that the carbon dioxide emissions will stay at a high level (Philippe Jean-Baptiste, [5]). Capture and storage of this gas in geological formations will be a major or asset, necessary in the short term and useful in a longer term.

The future anthropogenic emissions are affected by the uncertainties on the demographic forecast, analysed by Henri Léridon [8]. This projection depends on assumptions on mortality, fertility and migrations. The last UN projections anticipate a population ranging, in 2001, from 6.3 to 13.4 billions. Dominique Bourg [3] discusses the limits of public policies aiming at reducing energy consumption. Most people on the Earth are pleased with the present way of life, which is ba-

à explorer, comme les réacteurs à neutrons rapides et les réacteurs à haute température. La prédominance écrasante des combustibles fossiles et la lenteur des évolutions industrielles laissent prévoir, à court terme, un maintien des rejets de gaz carbonique à un niveau élevé (Philippe Jean-Baptiste, [5]). La capture et le stockage de ce gaz dans des formations géologiques constituent un atout majeur dans la lutte contre l'effet de serre, indispensable à court terme et très utile à long terme.

Les estimations des émissions futures de gaz à effet de serre sont affectées par les incertitudes de la prévision démographique qu'analyse Henri Léri-don [8]. Cette projection dépend des hypothèses faites sur l'évolution de la mortalité, de la fécondité et des migrations. C'est ainsi que les dernières projections des Nations unies prévoient des effectifs allant, en 2100, de 6,3 à 13,4 milliards d'habitants. Dominique Bourg [3] étudie les limites des politiques publiques d'incitation à la réduction des consommations d'énergie. Le mode de vie actuel, dispendieux en énergie, recueille l'adhésion de la quasi-totalité des habitants de la planète et il n'existe aucun projet de société de rechange suscitant le désir des foules. Toutefois dans la durée, ces obstacles devraient pouvoir être surmontés. Les conditions générales d'un développement durable à l'échelle de la planète sont rappelées par Michel Petit [11] : rareté relative des ressources, gestion locale de celles-ci et prise en compte des conséquences à long terme.

L'ensemble de ces articles montre la diversité et l'importance des problèmes soulevés par l'effet de serre et pave la route des recherches à poursuivre.

Michel Petit

*Conseil général des technologies de l'information,
20, av. de Ségur, 75353 Paris cedex 07,
France*

Références

- [1] J.-C. André, Sur la crédibilité des conséquences de l'effet de serre, C. R. Geoscience 335 (2003) 503–507.
- [2] P. Bacher, L'énergie nucléaire : obstacles et promesses, C. R. Geoscience 335 (2003) 603–610.
- [3] D. Bourg, Le défi climatique : les limites des politiques publiques, C. R. Geoscience 335 (2003) 637–641.

sed on a large energy use, and no exciting alternative is actually available. Nevertheless, in the long run, these obstacles should be overcome. The major conditions allowing a worldwide sustainable development are presented by Michel Petit [11]: relative scarcity of resources, local management and integration of the long-term consequences.

This thematic issue illustrates the diversity and the importance of the problems resulting from the greenhouse effect and paves the way for future researches.

Michel Petit

*Conseil général des technologies de l'information,
20, av. de Ségur, 75353 Paris cedex 07,
France*

- [4] J.-Y. Georges, Y. Le Maho, Réponses des écosystèmes marins et insulaires aux changements climatiques, C. R. Geoscience 335 (2003) 551–560.
- [5] P. Jean-Baptiste, Potentiel des méthodes de séparation et stockage du CO₂ dans la lutte contre l'effet de serre, C. R. Geoscience 335 (2003) 611–625.
- [6] J. Jouzel, Climat du passé (400 000 ans) : des temps géologiques à la dérive actuelle, C. R. Geoscience 335 (2003) 509–524.

- [7] L. Laubier, Changement et vulnérabilité des peuplements marins côtiers, *C. R. Geoscience 335 (2003) 561–568*.
- [8] H. Léridon, Certitudes et incertitudes de la prévision démographique, *C. R. Geoscience 335 (2003) 627–635*.
- [9] H. Le Treut, Les scénarios globaux de changement climatique et leurs incertitudes, *C. R. Geoscience 335 (2003) 525–533*.
- [10] C. Lorius, Effet de serre : les lacunes du savoir et de la perception, *C. R. Geoscience 335 (2003) 545–549*.
- [11] M. Petit, Développement durable à l'échelle de la planète et gestion des ressources en eau et en sols, *C. R. Geoscience 335 (2003) 643–656*.
- [12] S. Planton, À l'échelle des continents : le regard des modèles, *C. R. Geoscience 335 (2003) 535–543*.
- [13] M. Robert, B. Saugier, Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone, *C. R. Geoscience 335 (2003) 577–595*.
- [14] B. Seguin, Adaptation des systèmes de production agricole au changement climatique, *C. R. Geoscience 335 (2003) 569–575*.
- [15] B. Tissot, Sources d'énergie primaires et effet de serre, *C. R. Geoscience 335 (2003) 597–601*.