une très bonne cohérence spatiale et temporelle entre les diminutions d'ozone observées par ce réseau sol et le satellite TOMS.

F. Les volcans ne peuvent avoir d'influence notable dans la stratosphère que lors des éruptions explosives. En effet, en cas d'émissions proche du sol où n'atteignant pas la tropopause, les gaz solubles et les aérosols seront lessivés par les pluies avant d'être injectés dans la stratosphère. C'est le cas, notamment, de l'HCl émis qui ne peut pas dans ces conditions constituer une source significative de chlore stratosphérique.

Par contre les éruptions violentes, comme celles d'El Chichon et du Pinatubo, contribuent à la charge en aérosols de la stratosphère. Les mesures du profil vertical d'HCl, avant et juste après l'éruption du volcan El Chichon, n'ont pas montré d'augmentation notable de cette espèce, à l'échelle globale la source de chlore stratosphérique d'origine volcanique apparaît donc très inférieure aux autres sources naturelles (la décomposition du gaz CH_3Cl) et à celle des CFC.

Pour conclure, je voudrais souligner que s'il est tout à fait légitime que le grand public se pose des questions sur ces sujets, l'accusation selon laquelle la communauté scientifique ne transmettrait que des messages partiels, voire tendancieux, ne me paraît pas fondée. Pour s'en convaincre le lecteur pourra lire les rapports cités en référence ainsi que les très bons dossiers et livres publiés récemment sur le sujet ([9], [10], [11], [12]). Dans chacun de ces ouvrages y sont discutées les certitudes issues des résultats des recherches passées, mais aussi, et dans une très large part, les incertitudes qui subsistent.

La tâche des scientifiques est donc de réduire ces incertitudes, pour ce faire des moyens d'observation au sol, en mer et par satellite ainsi que la disponibilité de calculateurs puissants sont nécessaires [13]. Ces moyens ne sont pas d'un coût exorbitant par rapport à ceux déjà utilisés pour l'exploration des autres planètes du système solaire, ils sont sans doute dérisoires devant ceux qu'il faudrait mettre en place pour s'adapter et parer aux effets d'un réchauffement atmosphérique de grande ampleur, ou d'une augmentation importante du rayonnement solaire ultraviolet au sol.

D. Cariolle
Ingénieur en Chef de la Météorologie,
Météo France, Centre national
de recherches météorologiques,
Groupe de météorologie
de grande échelle et climat,
42, avenue Gustave Coriolis,
31057 Toulouse Cedex.

RÉFÉRENCES

[1] Climate Change, The IPCC Scientific Assessment, Ed. Cambridge University Press, **1990**.
[2] Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, Ed. Cambridge University Press, **1992**.
[3] L'effet de serre et ses conséquences climatiques : évaluation scientifique, rapport de l'Académie des sciences, Rapport n° 25, **1990**.
[4] Gérer la Planète, *Pour La Science*, n° 145, mai **1989**.
[5] Vade-Mecum de la récupération des CFC, Ademe, Ed. Pyc, **1993**.
[6] Banks and Kockarts, Aeronomy, Part B, Academic Press, **1973**.
[7] Scientific Assessment of Ozone Depletion : 1991, WMO report n°25, **1991**.
[8] Molina and Molina. *J. Phys. Chem.*, **1987**, 91, 433.
[9] G. Mégie. Ozone, l'équilibre rompu, Presse du CNRS, **1989**.
[10] J. C. Duplessy, P. Morel, Gros temps sur la planète. Ed. Odile Jacob, **1990**.
[11] A. Berger, Le climat de la Terre, un passé pour quel avenir ? Ed. de Boeck Université, **1992**.
[12] L'effet de serre, *La Recherche*, n° 243, mai **1992**.
[13] L'évolution du climat et de l'environnement global : La contribution française en 1991, ministère de la Recherche et de la Technologie, **1991**.

Note de la Rédaction

La compétence de M. Cariolle donne à sa lettre la valeur d'une mise au point sur un texte quelque peu naïf. Celui-ci ne voulait mettre en doute ni la pertinence des études en cours, ni la conviction des spécialistes. Il tentait d'exprimer l'insatisfaction de beaucoup devant l'opacité du flot de commentaires au travers desquels il est difficile d'être convaincu du bien-fondé de décisions graves, elles-mêmes porteuses de conséquences qu'il serait judicieux de bien évaluer. Nous pouvons être reconnaissant à M. Cariolle d'avoir bien voulu répondre à maintes questions. Pas à toutes. Il est donc utile de voir où en est notre questionnaire après cette importante contribution.*

R.H.

Effet de serre (ES)

A. La simultanéité n'induit pas nécessairement une relation de cause à effet et, s'il y en a une, n'indique pas qu'elle est la cause. La *figure 1* ci-après extrait du rapport de l'Académie des Sciences (*La vie des sciences*, 1991, p. 92) montre que les variations de la teneur de l'atmosphère en méthane et celles de sa température forment également des courbes quasi parallèles et même nettement mieux que le gaz carbonique il y a 70 à 100 000 ans. Étendue à CH_4, la logique appliquée à CO_2 ne conduirait-elle pas à limiter l'élevage des bovins et l'étendue des rizières ?

B. Il n'était pas dit que les études, donc les modèles des spécialistes, ne prenaient pas en compte la vapeur d'eau mais que c'était le cas des "discussions sur l'ES" (offertes aux non-spécialistes). Le réponse de M. Cariolle montre bien combien cela est regrettable.

** Notre souhait de voir entrepris un effort de clarification est partagé par d'autres. En février dernier, d'après* Chemical and Engineering News *(20 mai 1993, p.14), le président de l'AAAS F. S. Rowland demandait aux spécialistes des "sous-spécialités étroites" (du domaine qui nous concerne ici) de dépasser celles-ci et de tenter l'expérience difficile de communiquer la "sound science" au public. Nous laissons au lecteur le soin d'établir sa traduction personnelle du mot "sound".*

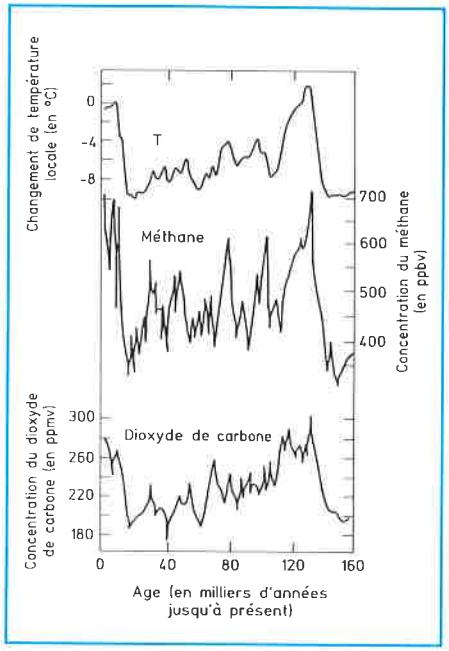

Figure 1 *- Changements de température et de concentrations de CO_2 et de CH_4 depuis 160 000 ans*

C. M. Cariolle souligne à juste titre une maladresse de rédaction : ce n'était pas "sans atmosphère" qu'il fallait écrire mais "avec une atmosphère sans gaz à ES". La faute étant reconnue, la question posée reste sans réponse. Dans sa lettre, M. Cariolle confirme que le climat n'est pas déterminé par la seule température de l'air mais par d'autres paramètres parfois plus importants, par exemple le bilan hydrique. L'exemple qu'il donne est très convaincant. En bref la réponse de la question **C** sera peut-être donnée au terme de l'étude de l'IPCC.

D. Pas de réponse : comment une cause continue (l'élévation de la teneur en CO_2) peut-elle avoir un effet discontinu (l'élévation de la température de l'atmosphère) ?

E. Remercions M. Cariolle de confirmer l'incertitude sinon sur l'élévation de la température moyenne de l'atmosphère depuis un siècle (0,5 °C), du moins sur son attribution à l'ES.

F. Pas de réponse : comment quelques degrés d'augmentation de la température peuvent suffire à fondre la calotte glaciaire antarctique ?

Couche d'ozone

A. M. Cariolle apporte d'utiles et convaincantes précisions

B. La question demeure, car la référence citée par M. Cariolle n'entre pas dans les lectures usuelles des non-spécialistes *.

C. Pas de réponse : connaît-on les spectres UV de l'atmosphère selon la latitude, l'altitude et leurs évaluations au cours des dernières décennies ?

D. D'accord avec M. Cariolle sur l'importance des cinétiques des diverses réactions en chaîne possibles. Mais la différence considérable entre les concentrations des réactifs supposés, surtout à 40 km d'altitude, n'exige-t-elle pas des longueurs de chaînes tout aussi considérables ?

E. M. Cariolle donne d'utiles indications sur la précision des mesures d'épaisseur de la couche d'ozone. Elles sont bien rarement mentionnées. Résumons : 5 % d'erreur sur la mesure elle-même, ce qui n'est pas important devant l'ampleur des fluctuations de ce que l'on veut mesurer. Au total, que doit-on retenir comme imprécision des épaisseurs annoncées ici ou là?**

F. L'information selon laquelle les injections massives du chlore dans la stratosphère lors d'éruptions volcaniques violentes comme celles de El Chichon ou du Pinatubo sont sans effet sur les teneurs en cet élément, est surprenante, compte tenu des quantités énormes mises en jeu.

Cette information a été confirmée entre temps pour l'éruption du Pinatubo** (*Science*, 21 mai 1993, p. 1082) HCl est piégé par les cristaux de glace. Rappelons que l'on estime que le Pinatubo a injecté environ 4,5 millions de tonnes de chlore dans la stratosphère et 1000 fois plus d'eau.

Restent les aérosols qui semblent bien être responsables de la réduction de la couche d'ozone observée depuis un an environ (*Science*, 23 avril 1993, p. 490 et 523).

Conclusion : M. Cariolle a clarifié bien des points du questionnaire soumis à la compétence de nos lecteurs. Des questions sont restées sans réponse. Insistons sur notre confiance dans l'aptitude à apporter des réponses, ou à mieux formuler les questions, mais aussi sur notre souhait que les limites de la certitude soient plus clairement perceptibles.

Donc : à suivre.

R.H.

** A ce sujet, il semble intéressant d'attirer l'attention sur l'information récente* (Science, *7 mai 1993, p.743) selon laquelle William Harper, directeur de la recherche du Département de l'Énergie américain, a été limogé pour avoir publiquement déclaré que "la menace sur la santé de la disparition de la couche de l'ozone est exagérée". Notamment, W. Harper a souligné la divergence ("discrepancy") entre les niveaux prédits d'UV-B, susceptibles de causer des cancers et normalement arrêtés par l'ozone, et les niveaux effectivement mesurés sur le terrain. De telles opinions auraient vivement déplu au vice-président Al Gore (citons textuellement* Science *: "whose apocalyptic vision of an environmentally ravaged Earth drew the epithet "Ozone Man" during the presidental race last year". Des chercheurs américains précisent que la réduction de 9 % de la couche d'ozone dans les zones de latitudes moyennes de l'hémisphère nord (Europe, États-Unis) doit induire un augmentation de + 2 % environ des UV dangereux (*Science, *23 avril 1993, p. 491). Les mesures, si elles sont faites, seront-elles publiées ?*

***L'instrument TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) placé sur le satellites Nimbus 7 constituait l'un des principaux outils d'étude de la couche d'ozone. Sa durée de vie était initialement prévue de 2 ans lors de la mise sur orbite en octobre 1978. Il est tombé en panne le 7 mai dernier, sans doute définitivement (C&EN, 24 mai 1993, p. 6). D'après la NASA "jusqu'au dernier moment ses indicateurs auraient été fiables."*

"Il y a deux conceptions principales de l'environnement : - celle qui considère que l'homme fait partie de la nature qu'il s'agit de protéger même aux dépens de certains des intérêts de celui-ci ; - celle qui considère l'homme comme le centre de la nature et qui cherche principalement à conserver un patrimoine nécessaire à nos descendants.
Cette dernière conception est la plus répandue et est celle du monde industriel et technique responsable".

Claude Fréjacques
vice-président de l'Académie des sciences
(Revue Générale Nucléaire, *mars-avril 1993, p. 88).*

"Il faut protéger la nature, parce que protégeant la nature nous agissons en faveur de générations futures. On ne protège pas la nature pour qu'il puisse y avoir des ours dans les Pyrénées, ou des lynx dans les Vosges. On la protège parce que l'homme est au cœur de nos préoccupations, non parce que nous avons érigé la nature en divinité".

Prof. Maurice Tubiana
(Revue Générale Nucléaire, *mars-avril 1993, p. 143).*