Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Band: 114 (1991)

Artikel: L'augmentation de la concentration des gaz-trace dans l'atmosphère : est il permis de l'ignorer?

Autor: Fischer, Gaston

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-89343

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

OBSERVATOIRE CANTONAL, CH-2000 NEUCHÂTEL, SUISSE

L'AUGMENTATION DE LA CONCENTRATION DES GAZ-TRACE DANS L'ATMOSPHÈRE: EST-IL PERMIS DE L'IGNORER?

par

GASTON FISCHER

AVEC 6 FIGURES

1. INTRODUCTION

Comme nous le savons tous, l'effet de serre occupe quotidiennement la première page des journaux et les prédictions d'une augmentation de la température globale moyenne paraissent être observables aujourd'hui déjà, ainsi que le suggère la figure 1. Le record établi par l'année 1990 (KERR 1991) est généralement considéré comme confirmation de ce réchauffement global. Mais 1990 a aussi été caractérisée par un niveau d'activité solaire très élevé (cf. FRÖHLICH 1990) et il est quasiment certain qu'une partie au moins de l'augmentation de température de ces dernières années doit être attribuée à un Soleil un peu plus chaud. Qu'en est-il du réchauffement à plus long terme, celui qu'on constate depuis le début de l'ère industrielle? Peut-on aussi l'imputer au Soleil? C'est une question à laquelle nous allons essayer de répondre.

2. LA TEMPÉRATURE GLOBALE MOYENNE À LA SURFACE DE LA TERRE

La température globale moyenne T_t à la surface du sol est le résultat d'un équilibre garantissant que la puissance incidente à tout moment du Soleil est bien réémise par la Terre dans l'espace interplanétaire. Cet équilibre conduit à l'expression (cf. MITCHELL 1989 ou FISCHER 1991a):

$$T_t = \sqrt[4]{\frac{S(1-\alpha)}{4\,\sigma}} + \Delta T_g \quad . \qquad (1)$$

Dans cette équation S est la constante solaire ($S \cong 1370$ W/m^2), α l'albédo ($\alpha = 0{,}30$ à $0{,}35$), σ la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ J/s m^2 °K^4) et ΔT_g représente l'effet de serre ($\Delta T_g \cong 38$ °K).

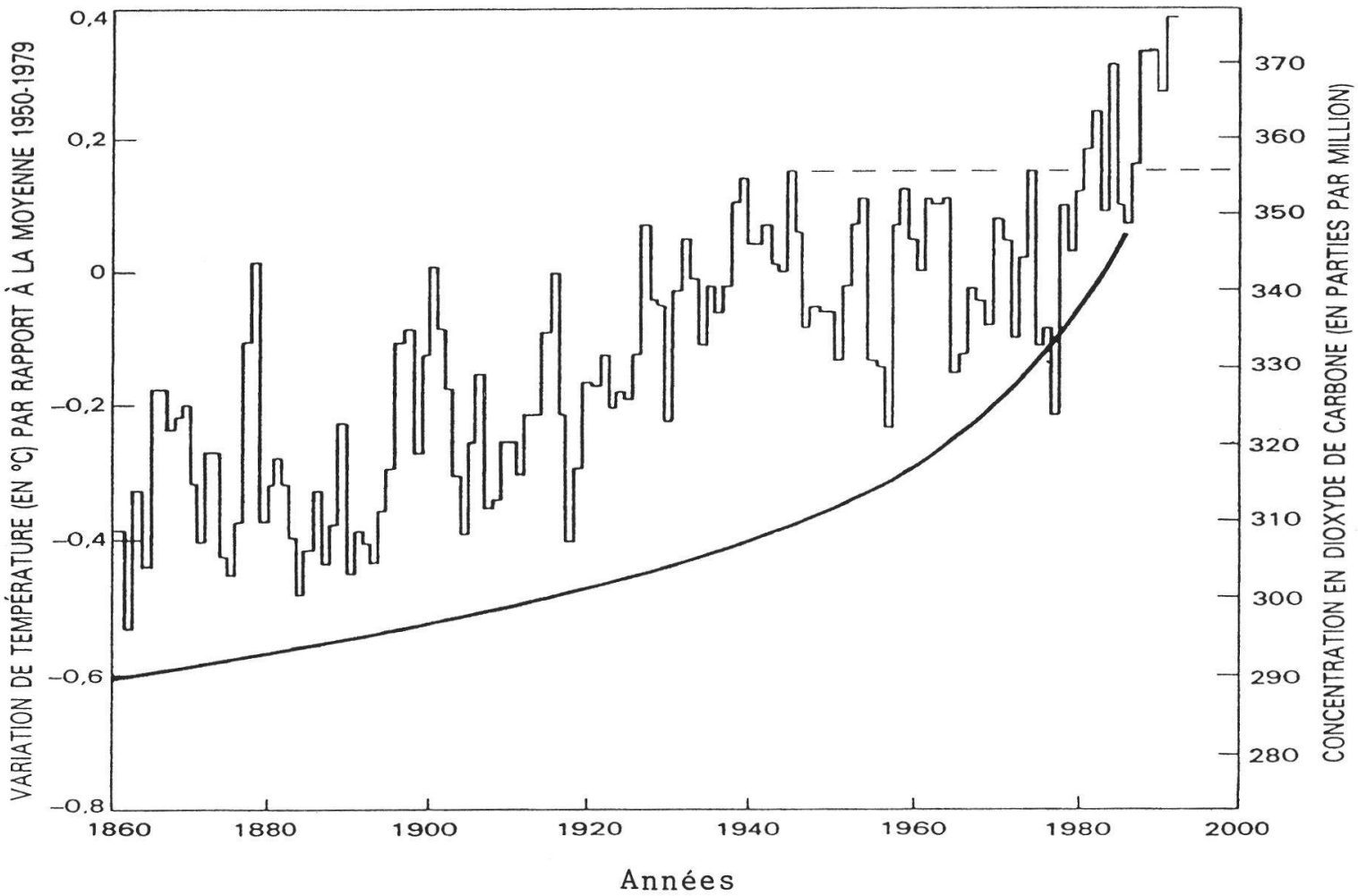

Fig. 1. Depuis 1860 la concentration atmosphérique de gaz carbonique (courbe lisse) et la température globale moyenne ont augmenté de façon assez analogue. Les huit années les plus chaudes se retrouvent toutes parmi les onze dernières. De 1950 à 1990 on constate une grande concordance avec les cycles solaires. Il est donc probable que les cinq années à venir vont être un peu moins chaudes, mais à plus long terme le réchauffement général va certainement se poursuivre (adapté de SCHNEIDER 1989).

On doit admettre qu'albédo α et effet de serre ΔT_g dépendent tous deux de la concentration atmosphérique des gaz-trace (vapeur d'eau H_2O, dioxyde de carbone ou gaz carbonique CO_2, méthane CH_4, gaz fréons ou CFC, oxydes d'azote NO_x, ozone O_3, etc.), mais nous allons d'abord porter notre intérêt sur la constante S, fonction de l'irradiance solaire.

Avec les valeurs données pour les constantes, on trouve une température globale moyenne $T_t = 290 \pm 5$ °K, ou 17 ± 5 °C, la fourchette des incertitudes provenant surtout d'une connaissance imparfaite de l'albédo.

3. LES VARIATIONS DE L'IRRADIANCE SOLAIRE

Avant l'ère des satellites artificiels il était non seulement difficile de mesurer S avec précision, mais totalement impossible de suivre des fluctuations qu'on ne pouvait que soupçonner. La situation a maintenant bien changé et nous voyons, à la figure 2, deux jeux de mesures de S obtenus par des solarimètres en orbite autour de la Terre. Bien que la précision de la mesure ne soit que de 0,3 % environ, comme en témoigne le décalage entre les deux jeux, la grande stabilité des instruments est illustrée par la similitude des variations temporelles qu'ils ont enregistrées. Entre le maximum d'activité en 1979/1980 (cycle solaire N° 21, cf. HIRMAN et *al.* 1988) et le minimum suivant en 1986/1987 la différence n'est que légèrement supérieure à 2 W/m². Etant donné que le cycle actuel (N° 22) est un peu plus fort que le précédent, les variations maximales de S au cours des 10 ou 12 dernières années ont peut-être atteint 2,5 W/m². Par l'équation (1) on calcule que cela signifie pour T_t une variation de 0,12 °K, valeur qui peut être comparée à l'augmentation de 0,2 °C, entre 1985 et 1990, bien visible sur la figure 1. Vu les difficultés propres à l'établissement de températures moyennes globales, un tel accord est plus que satisfaisant.

Depuis 1980 environ, c'est-à-dire depuis que les solarimètres en orbite ont fourni des données crédibles, les variations de l'irradiance S ont été comparées aux variations de l'activité magnétique du Soleil par plusieurs auteurs (FOUKAL et LEAN 1990, KELLY et WIGLEY 1990, FRÖHLICH 1990). Cette comparaison, basée sur le nombre de taches solaires, ou plutôt sur leur extension superficielle, et sur les facules photosphériques provenant des éruptions solaires, dont la surface varie aussi avec le nombre de taches, a révélé une très étroite corrélation entre irradiance et activité du Soleil. Invoquant cette grande corrélation, on a estimé les variations de S depuis 1860, époque au cours de laquelle on a une bonne connaissance de l'activité solaire. On notera ici que la date de 1860 coïncide à peu près avec le début de l'ère industrielle et aussi avec la fin de la dernière petite période glaciaire (voir les fig. 3 et 4). A l'exception d'une petite augmentation de S, à la suite de cycles 18 à 22 plus forts que les précédents (FOUKAL et LEAN 1990), S n'a guère varié depuis 130 ans et pour la température T_t on ne peut en déduire qu'un accroissement de 0,02 °C.

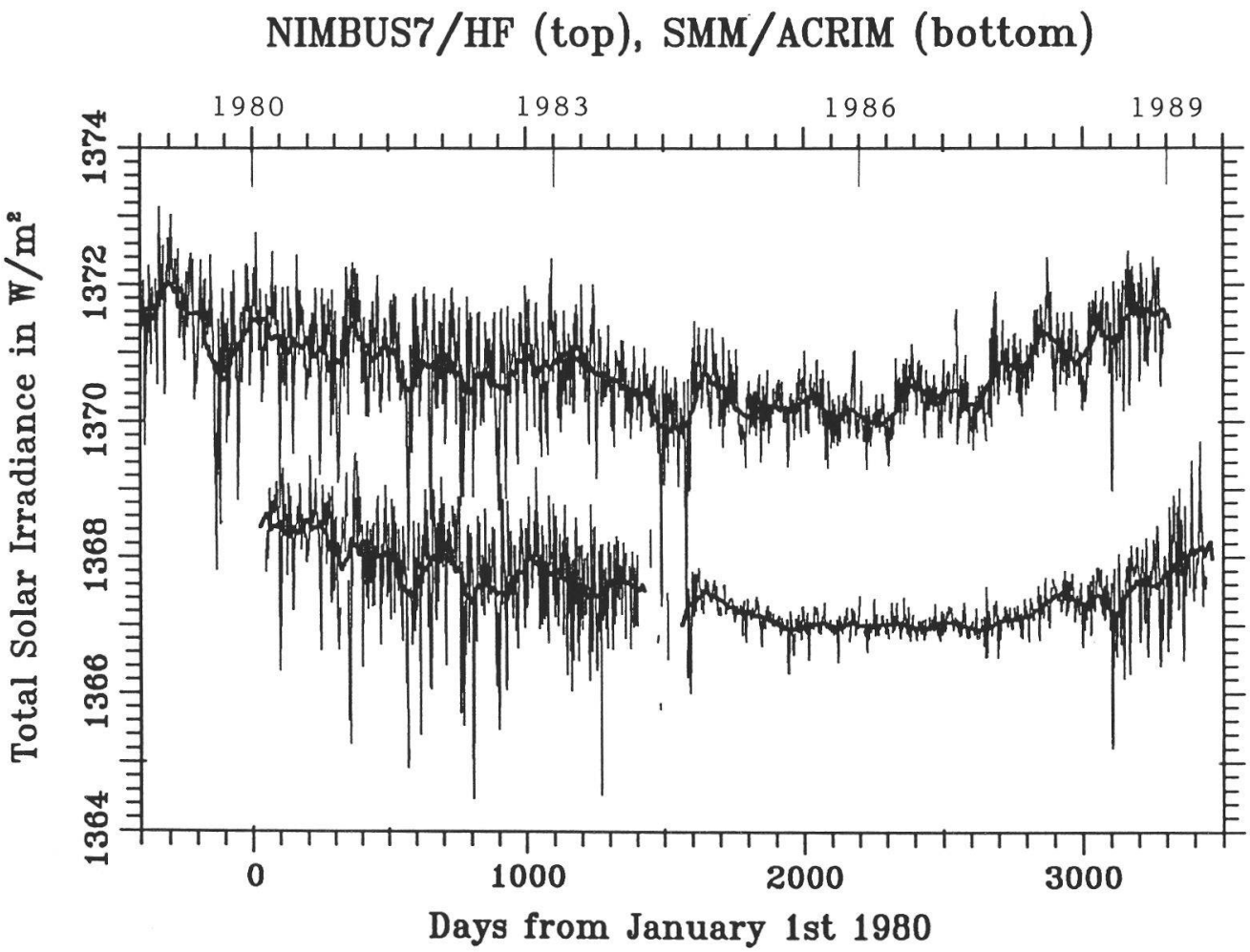

Fig. 2. Mesures de la constante solaire S, de 1979 à 1989, par les solarimètres européen (Nimbus 7) et américain (SMM), en orbite sur des satellites artificiels. La grande dispersion des valeurs SMM jusqu'en 1984 provient des culbutes d'un satellite instable. Les astronautes d'une navette ont pu corriger ce défaut. Le léger désaccord des valeurs absolues provient de différences dans la calibration. Il vaut la peine de noter que lors des maxima de l'activité solaire les valeurs de S sont plus dispersées. L'écart des valeurs moyennes entre maximum et minimum n'est que de 2 W/m^2 environ. Il va sans dire que ces mesures sont corrigées pour les variations bien connues de la distance séparant la Terre du Soleil (adapté de FRÖHLICH 1990).

Mais les arguments dont nous venons de parler sont une extrapolation sur plus de cent ans, justifiée uniquement par la grande corrélation observée sur les dix années les plus récentes. Il est donc impératif de chercher d'autres données, indépendantes des premières, qui confirmeraient ce comportement passé du Soleil. De telles données existent et proviennent de la calibration de l'échelle de datation au radiocarbone (carbone 14) par la dendrochronologie (comparaison et comptage des cernes de bois, cf. BECKER et *al.* 1985). Comme on le sait, le taux de production de carbone 14 dépend de trois facteurs: l'intensité du rayonnement cosmique, l'amplitude moyenne du champ magnétique terrestre et le niveau de l'activité solaire. Le rayonnement cosmique, responsable primaire de la production de carbone 14, est connu pour sa grande stabilité. Il n'en va pas de même pour les deux autres facteurs. Tous deux viennent perturber cette production, et ceci d'autant plus fortement que leur propre intensité augmente. En comparant l'échelle de datation au radiocarbone, avec l'échelle beaucoup plus précise de la dendrochronologie, on a pu reconstituer l'évolution du taux de production de carbone 14, comme on le voit aux figures 3 et 4. La figure 3 démontre aussi qu'il est possible de séparer, sans ambiguïté, les variations causées par le champ magnétique terrestre et celles dues à l'activité solaire. La mise en évidence parfaite, dans les figures 3 et 4, des petites époques glaciaires du dernier millénaire (Wolf: 1300-1350, Spörer: 1450-1550, Maunder: 1650-1750, et la plus récente qui s'est terminée vers 1850 environ, époque depuis laquelle les glaciers continentaux se sont continuellement retirés) confirme le degré de confiance que l'on peut attribuer à ces données et la figure 3 fournit donc bien une chronologie de l'activité solaire passée.

Par l'étude des chroniques historiques et celle des cycles de progression et de retrait des glaciers, on a estimé la baisse de température globale moyenne, pendant les petites glaciations de Maunder et Spörer, à environ 0,5 °C, ou même davantage. Si l'on revient à la figure 3, on constate que le taux de carbone 14 est maintenant particulièrement bas, ce qui suggère un régime d'activité solaire très élevé. Mais la chute actuelle de ce taux a une autre cause. Elle est due entièrement à la dilution du carbone 14 dans l'excédent atmosphérique de carbone 12 que l'on constate depuis le début de l'ère industrielle. Cet effet, prédit d'abord par CALLENDAR (1940), mais appelé «effet Suess» (SUESS 1953), est particulièrement bien visible sur la figure 5, où l'on voit qu'il s'est fait sentir dès le début du siècle. Si on corrige la courbe de la figure 3 pour compenser l'effet Suess, on trouve que l'activité du Soleil est proche, à présent, de sa moyenne à long terme. A l'exception de la faible augmentation récente, suite à des cycles solaires plus forts que leurs prédécesseurs, les températures globales élevées que nous connaissons aujourd'hui ne peuvent donc pas être imputées à une activité solaire anormalement forte. Il est ainsi de plus en plus certain que c'est du côté de l'effet de serre qu'il faut chercher l'explication.

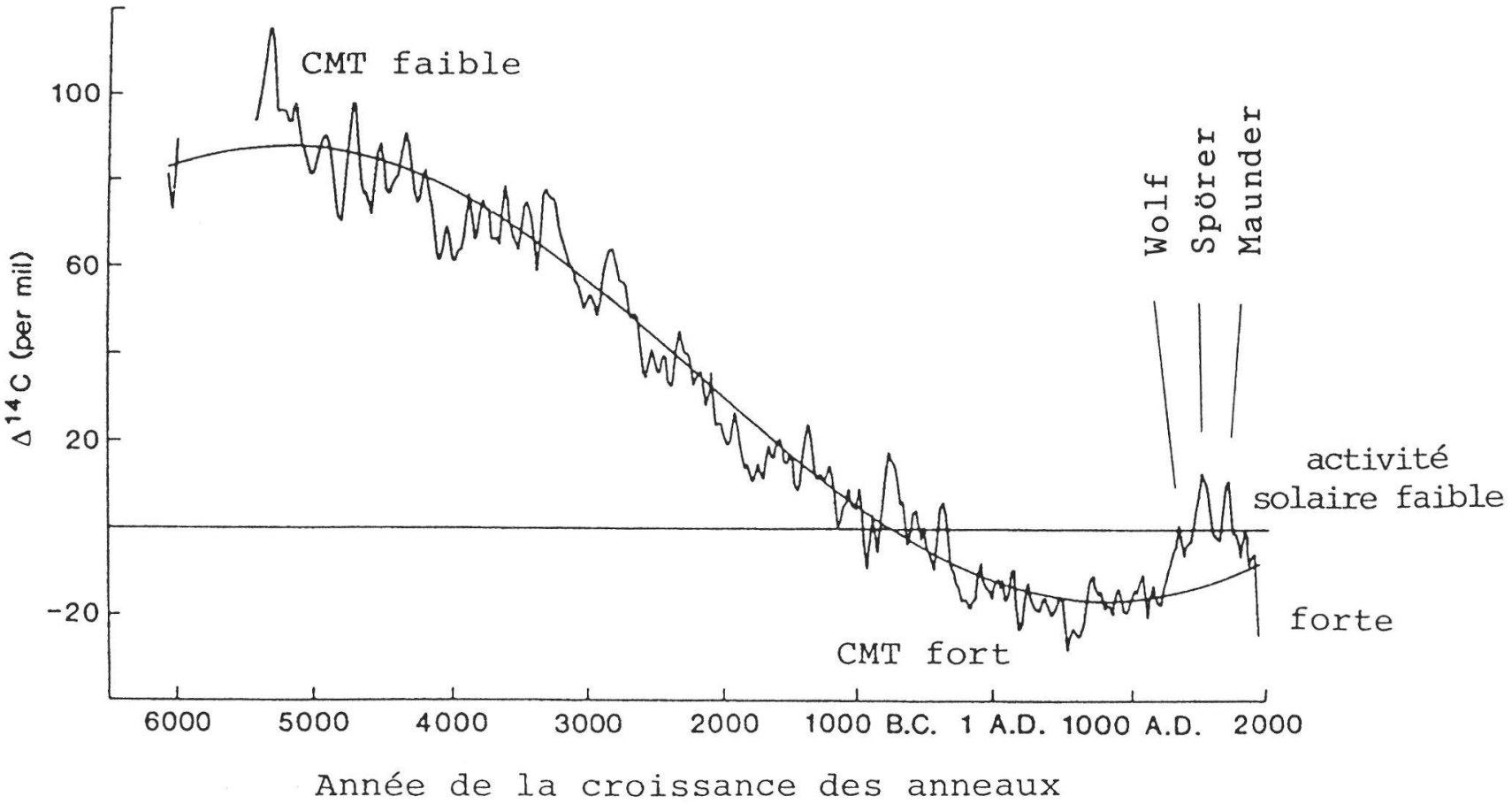

Fig. 3. Variations d'abondance du carbone 14 dans l'atmosphère au cours des huit mille années passées, dérivées de mesures dendrochronologiques sur des arbres californiens. La courbe aux variations rapides est dérivée des mesures, mais suit un tracé de courbure minimal («spline», voir la fig. 4). Elle fait apparaître une périodicité d'environ deux cents ans, attribuée aux perturbations du rayonnement cosmique par l'activité du Soleil. Le trait lisse est une portion de sinusoïde et représente l'effet perturbateur du champ magnétique terrestre (CMT). Cette courbe est en bon accord avec les variations du CMT que l'on connaît par les études paléomagnétiques (adapté de DRUFFEL 1982).

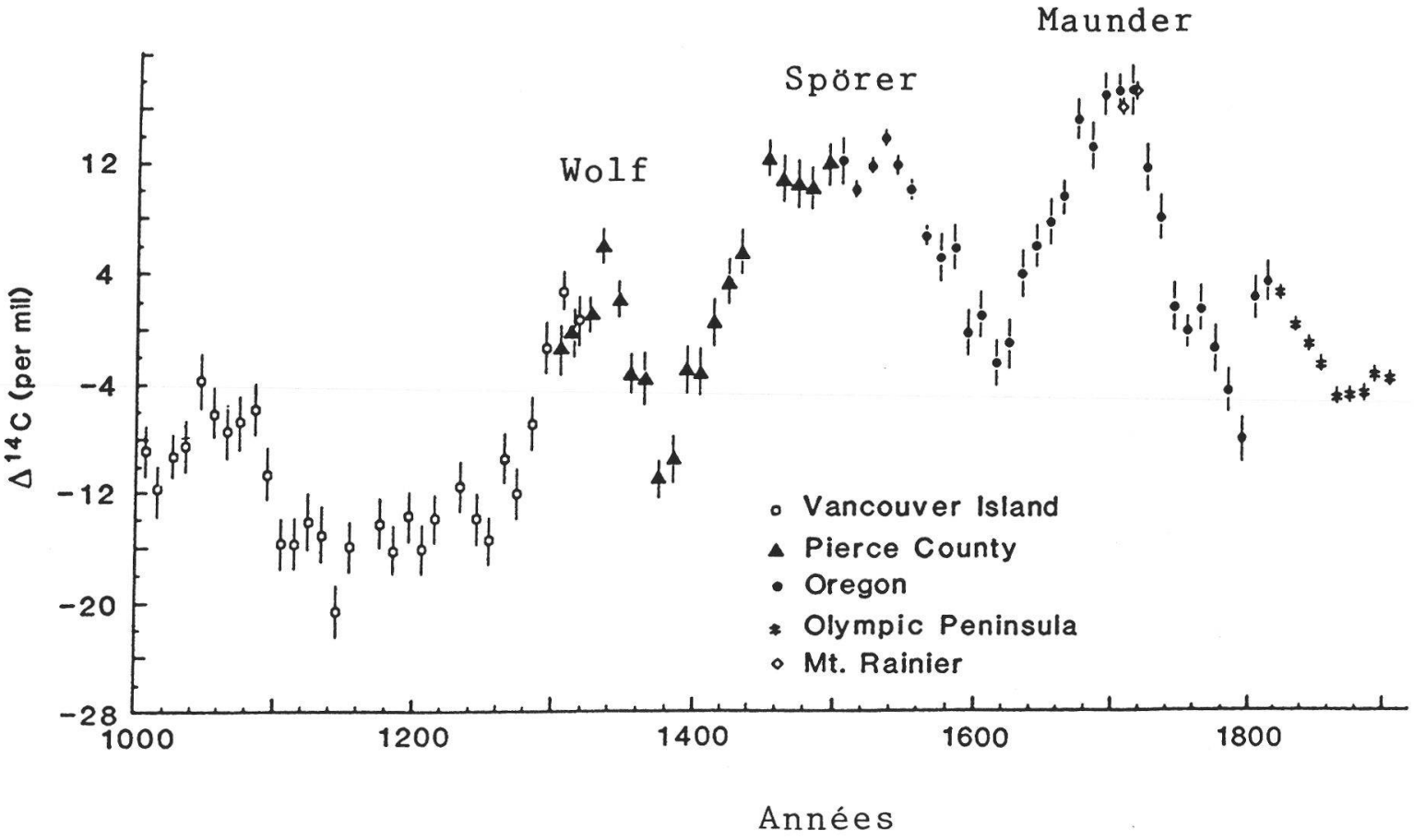

Fig. 4. Variations du taux de carbone 14 atmosphérique de l'an 1000 à 1900. Ce graphe illustre la qualité des données à la base de la figure 3. On y reconnaît toutes les petites périodes glaciaires du dernier millénaire (adapté de DRUFFEL 1982).

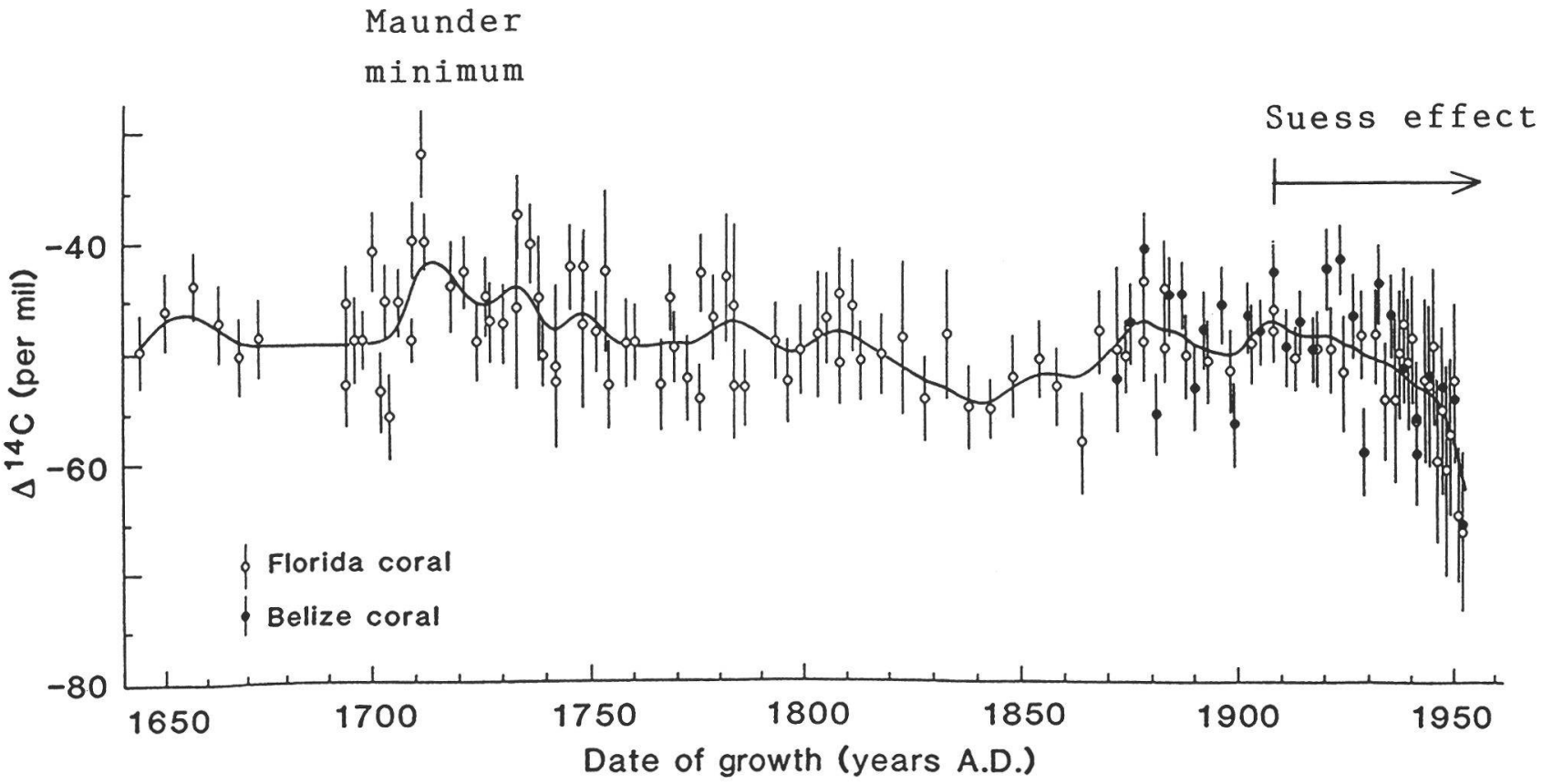

Fig. 5. Concentration de carbone 14 dans des coraux baignés par le Gulf Stream. Ces données font bien apparaître l'*effet Suess* discuté dans le texte. Depuis 1945 le carbone 14 injecté dans l'atmosphère par les explosions nucléaires vient s'opposer à cet effet (adapté de DRUFFEL 1982).

4. PRÉDIRE LES CLIMATS FUTURS

Alors que l'augmentation de la concentration atmosphérique de gaz-trace est une réalité objective, ses effets potentiels sur les climats futurs est encore l'objet de controverses. Dans le paragraphe précédent, nous avons vu que le réchauffement global, bien évident sur la figure 1, ne peut pas être attribué au Soleil; la cause doit plutôt être recherchée dans un effet de serre en augmentation. A quelle sorte d'augmentation de température faut-il s'attendre? De nombreux modèles climatologiques s'évertuent à répondre à cette question. Un standard de comparaison semble s'être imposé, qui suit les critères suivants: dans un premier temps on additionne les effets des divers gaz-trace, au prorata de leur concentration et de leur efficacité relativement au gaz carbonique; on obtient ainsi un «équivalent gaz carbonique» de l'ensemble des gaz-trace; pour tous les modèles on calcule alors les conséquences d'un doublement de cet «équivalent CO_2».

Grâce à la puissance de calcul des nouveaux ordinateurs, les derniers modèles climatologiques sont devenus très raffinés; ils sont en mesure de tenir compte de nombreux effets réactifs, tels que les changements de la concentration de vapeur d'eau, et ceux de la couverture en nuages, neige et glace. Bien que les prédictions des divers modèles divergent encore, ils s'accordent pourtant tous à prédire un réchauffement généralisé. Pour la moyenne globale, l'augmentation de température prédite s'échelonne entre 1,5 et 5,2 °C (MITCHELL 1989, GROSS LEVI 1990, LORIUS et *al.* 1990).

Afin de ne rien cacher, on mentionnera qu'une minorité de scientifiques contestent les mérites des modèles climatologiques et refusent d'accepter leurs prédictions d'un réchauffement causé par l'augmentation de l'effet de serre. Mais ils sont de moins en moins nombreux et toujours plus isolés (cf. ROBERTS 1989, KERR 1990).

Ainsi, les modèles de climat calculent les effets attendus d'un doublement de la concentration atmosphérique de CO_2, mais il reste à estimer le moment où cette situation deviendra réalité. Si rien n'est entrepris pour diminuer la production de gaz-trace, soit en poursuivant au rythme de croissance actuel (scénario «business as usual» du Rapport IPCC 1990), cela se produira avant l'an 2020 déjà. D'autres scénarios sont considérés dans le Rapport IPCC. Tous envisagent des mesures d'économies afin de réduire les émissions de gaz-trace. Mais ces scénarios aux conséquences plus optimistes ont peu de chance de réussite, car tous impliquent l'application immédiate de législations restrictives. Le plus grand obstacle à la réalisation de telles mesures est probablement notre opposition à tout ce qui paraît restreindre nos libertés (GIOVANNINI 1989).

5. UN AUTRE REGARD VERS LE FUTUR

Même s'il s'avérait que le réchauffement global auquel nous assistons n'est pas imputable à l'effet de serre, et qu'il ne soit donc que passager, cela voudrait-il dire que nous pouvons rester indifférents face à l'augmentation de la concentration de gaz-trace dans notre atmosphère? Il y a au moins deux raisons impératives qui nous interdisent une telle attitude.

La première raison concerne la *qualité de l'air*. On sait, d'une part, que l'augmentation atmosphérique des CFC menace la couche d'ozone stratosphérique qui nous protège des rayons ultraviolets, responsables de diverses formes de cancer de la peau. Des mesures récentes au Jungfraujoch (BLUMENTHALER et AMBACH 1990) semblent confirmer une croissance de l'intensité du rayonnement ultraviolet même à nos latitudes. D'autre part, nous sommes tous témoins de la dégradation de la qualité de l'air de nos villes. Dans certaines grandes agglomérations, telles que Los Angeles, Mexico City ou Athènes, il arrive souvent qu'on ne puisse pas situer la position du Soleil dans le ciel même par temps clair et les problèmes respiratoires y sont devenus très aigus pour la population. Certains jours on invite enfants et vieillards à ne pas sortir des habitations.

La seconde raison s'impose à nous lorsqu'on met en rapport la concentration atmosphérique des gaz-trace et la *consommation globale d'énergie par l'homme*. Il ne fait aucun doute que ces deux facteurs sont intimement liés, puisque la plupart de ces gaz proviennent effectivement de combustions lors de l'utilisation de carburants fossiles (charbon, pétrole, gaz). En 1990, on estimait à $C_o = 7{,}3 \cdot 10^{12}$ W la puissance consommée par l'homme pour ses activités industrielles et domestiques, en majorité sous forme de combustibles fossiles. D'autre part, on peut aussi calculer, à partir de la constante solaire S, la totalité de l'énergie qui parvient à tout instant du Soleil jusqu'à notre planète. Cela équivaut à une puissance de $P_I = 1{,}75 \cdot 10^{17}$ W. Le rapport p entre ces deux puissances vaut ainsi:

$$p = 1{,}75 \cdot 10^{17} / 7{,}3 \cdot 10^{12} = 24\ 000 \quad . \qquad (2)$$

Comme on le sait, les experts en économie parlent toujours en termes de *taux de croissance* plus ou moins stables sur d'assez longues périodes de temps. Une économie saine devrait nécessairement afficher un taux de croissance positif! Pour l'énergie, on a aussi longtemps admis qu'il fallait concevoir un taux de croissance positif. Bien que l'on parle maintenant plus souvent de *conservation d'énergie*, il n'en reste pas moins vrai que sa consommation augmente encore très régulièrement. Voici une quinzaine d'années les experts en économie énergétique avançaient le chiffre d'une croissance annuelle de 7 %, mais ils sont devenus un peu plus modestes depuis et parlent maintenant de 2 à 3 % par an. Pour bien saisir la signification de ces chiffres, il vaut la peine de poser la question de savoir, en supposant que ces taux de croissance soient maintenus, à quel moment l'énergie consommée par l'homme atteindra un niveau comparable à celle reçue continuellement du Soleil.

Un taux de croissance fixe signifie une augmentation exponentielle et l'exposant est fonction de ce taux de croissance. Admettons un taux annuel de x %. Au bout d'un an on aura donc une consommation C(1 an) donnée par

$$C(1) = C_o \cdot (1 + x) = C_o \cdot \exp [\ 1 \cdot \alpha\ ] \quad , \qquad (3)$$

qui requiert

$$\alpha = ln\ (1 + x) \tag{4}$$

Par contre, au bout de n années la consommation C(t) = C(n) sera

$$C(n) = C_o \cdot \exp\ [\ n \cdot \alpha\ ] = C_o \cdot (1 + x)^n \tag{5}$$

On peut maintenant demander dans combien d'années la puissance consommée par l'humanité sera une fraction r de la puissance incidente P_I. Cela revient à poser

$$C(n) = r \cdot P_I = C_o \cdot \exp\ [\ n \cdot \alpha\ ] \quad , \tag{6}$$

dont on tire immédiatement

$$n = \frac{ln\ (r \cdot P_I/C_o)}{\alpha} = \frac{ln\ (r \cdot p)}{ln\ (1 + x)} \quad . \tag{7}$$

La figure 6 est une représentation de cette expression, qui donne donc le nombre d'années nécessaires, en supposant un taux de croissance stable, pour que la puissance consommée atteigne un pourcentage donné de la puissance solaire incidente. Ce qu'on note avec effroi dans ce diagramme, est qu'avec un taux de croissance annuel de 7 % on atteindrait la puissance solaire en 149 ans seulement, et si l'on se fixe comme borne 1 % seulement de cette limite, on l'atteindrait dans 81 ans déjà! Avec la croissance annuelle plus modeste de 2,5 %, il faudrait attendre 408 ans pour égaler la puissance fournie par le Soleil et seulement 222 ans pour atteindre 1 % de cette limite. Point n'est besoin d'insister que même avec la marge de 1 % il y aurait de nombreux endroits sur Terre où l'énergie libérée par l'homme serait si élevée que ces régions lui seraient devenues inhabitables.

6. CONCLUSIONS

Ce que nous venons ainsi de voir est que l'augmentation continuelle et régulière de la teneur atmosphérique en gaz-trace ne peut en aucun cas nous laisser indifférents. Même si nous pouvions faire confiance aux rares experts qui pensent qu'une catastrophe climatique n'est pas à craindre, les autres aspects de ce problème ne peuvent que nous alarmer. Dans quelles directions faut-il chercher des solutions? Cette question a des aspects politiques, économiques et sociologiques. Elle est d'une complexité et d'une difficulté qui dépassent de loin les problèmes que nous avons abordés dans cet article et nous renvoyons le lecteur à d'autres études

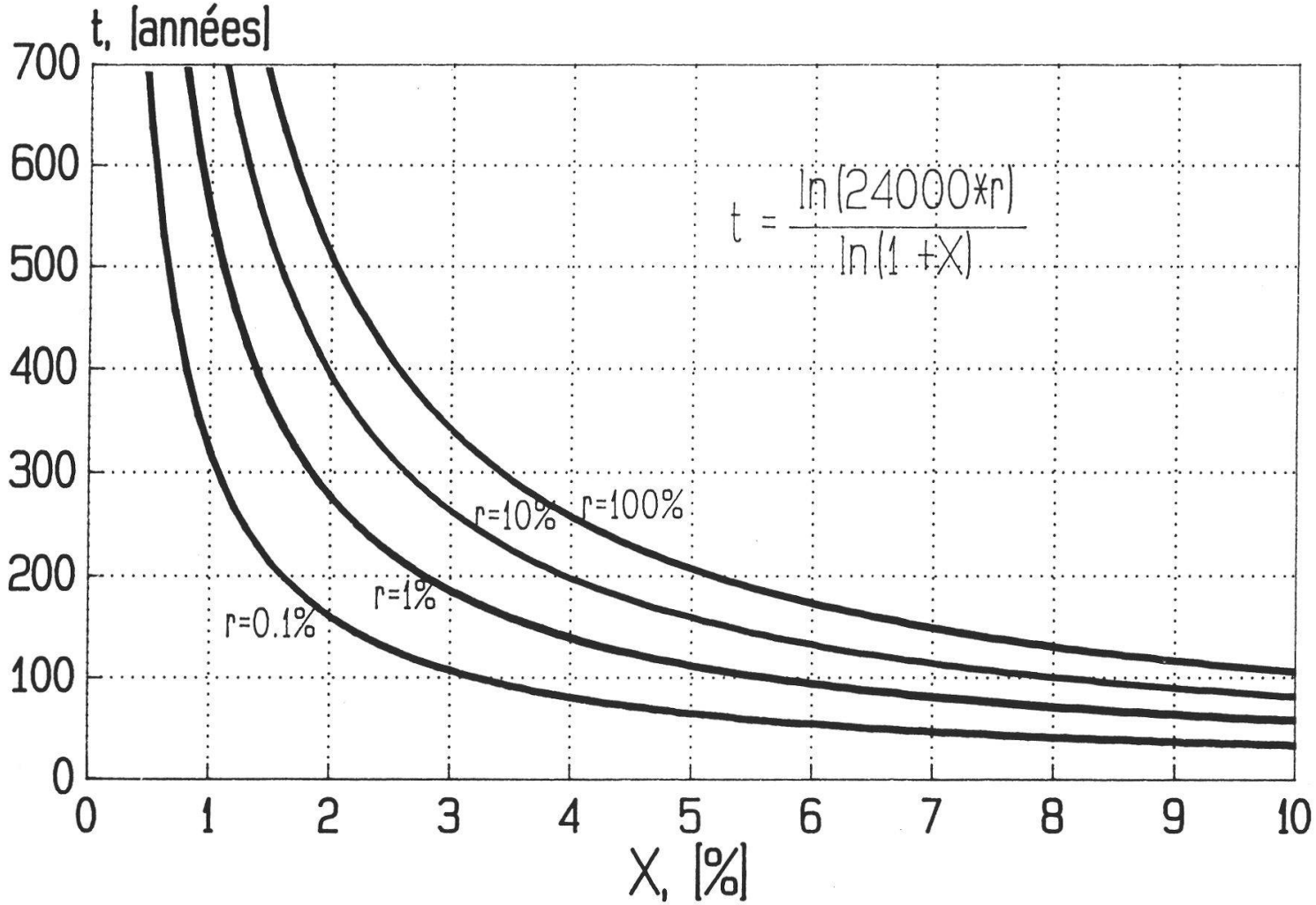

Fig. 6. Durée de temps qu'il faudrait pour que la consommation annuelle d'énergie par l'homme, pour l'ensemble de ses besoins, atteigne un pourcentage donné r de l'énergie solaire incidente, si l'on suppose que l'énergie consommée ira en augmentant avec un taux annuel fixe de x %. On remarque pour x = 7 % et r = 1 % qu'il suffirait de 81 ans! Avec x = 2,5 % et toujours r = 1 %, il faudrait seulement 222 ans.

(Rapport IPCC 1990, GIOVANNINI 1989). La seule chose que nous pouvons dire avec une certitude absolue, est que toute solution devra passer avant tout par des économies d'énergie. Mais cela est-il possible si l'on sait que la population du globe continue de croître à un rythme qui pourrait, aujourd'hui encore, dépasser celui d'une fonction exponentielle (FISCHER 1990, 1991b) et que cette population exige un confort de vie toujours plus grand?

Résumé

Les températures globales moyennes ont augmenté très sensiblement depuis quelques années. Cette augmentation est le plus souvent imputée à l'effet de serre, qui devient plus fort lorsque la concentration de gaz-trace dans l'atmosphère s'accroît. Mais le Soleil, qui vient de connaître une de ses périodes les plus actives, a aussi contribué à cette augmentation. Cela suggère que son rôle dans le réchauffement global pourrait être plus important qu'on ne l'avait admis jusqu'à présent. En comparant les méthodes de datation au radiocarbone (carbone 14) et par dendrochronologie, il est possible de reconstituer les variations solaires sur un passé d'environ dix mille ans. Pour le dernier millénaire on trouve alors une parfaite corrélation avec les périodes froides bien connues, souvent dénommées petites périodes glaciaires. Mais à l'exception des variations liées aux cycles solaires de onze ans, un peu plus fortes depuis quelque temps, on trouve que le Soleil est resté plutôt stable depuis 1850. C'est donc bien à l'augmentation de l'effet de serre qu'il faut attribuer le réchauffement global constaté actuellement.

Il y a encore au moins deux autres bonnes raisons pour ne pas rester indifférent face à l'augmentation des gaz-trace dans l'atmosphère. La première concerne la qualité de l'air ambiant. Nous savons, d'une part, qu'avec l'augmentation de la teneur en CFC la couche d'ozone en altitude est menacée. Cela signifie une plus grande transparence aux rayons ultraviolets et la menace d'une plus forte incidence de cancers de la peau. D'autre part, il est bien connu que l'air de certaines grandes agglomérations est devenu opaque et presque irrespirable. Certains jours on ne voit plus le Soleil même par temps clair et la population est invitée à ne pas sortir des habitations.

La deuxième raison découle de l'augmentation continuelle de la consommation d'énergie par l'homme, surtout de sources fossiles. Cette augmentation paraît d'autant plus inévitable que la population du globe continue de croître, que sa grande majorité est très défavorisée et qu'elle aspire à un confort de vie meilleur. Malgré tous les efforts d'économie on consomme toujours plus d'énergie. Si l'augmentation se poursuit au rythme régulier actuel, correspondant à une augmentation exponentielle d'environ 2,5 % par an, elle égalera 1 % de celle envoyée continuellement sur Terre par le Soleil dans un peu plus de deux cents ans déjà et, bien sûr, aura des conséquences absolument catastrophiques pour le climat.

BIBLIOGRAPHIE

BECKER, B., BILLAMBOZ, A., EGGER, H., GASSMANN, P., ORCEL, A., ORCEL, Chr. et RUOFF, U. – (1985). Dendrochronologie in der Ur- und Frühgeschichte. Die absolute Datierung von Pfahlbausiedlungen nördlich der Alpen im Jahrringkalender Mitteleuropas. *Publication de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie* (Antiqua 11): 46-55.

BLUMENTHALER, M. et AMBACH, W. – (1990, April 13). Indication of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in Alpine regions. *Science* 248: 206-208.

CALLENDAR, G. S. – (1940). Variations of the amount of carbon dioxide in different air currents. *Quart. J. R. Meteorolog. Soc.* 66: 395-400.

DRUFFEL, E. M. – (1982, October 1). Banded Corals: Changes in oceanic Carbon-14 during the little ice age. *Science* 218: 13-19.

FISCHER, G. – (1990). Evolution de la population du globe depuis ses origines jusqu'au présent. *Bull. Soc. neuchâtel. Sc. nat.* 113: 319-345.

– (1991a). Le rôle de l'effet de serre dans le climat de la Terre. *Gaz, Eaux, Eaux Usées (Revue Suisse de l'Industrie du Gaz),* vol. 91, n° 4 (avril, 71e année): 262-273.

– (1991b). Où l'explosion démographique nous conduit-elle? Soumis pour publication.

FOUKAL, P. et LEAN, J. – (1990, February 2). An empirical model of total irradiance variation between 1874 and 1988. *Science* 247: 556-558.

FROEHLICH, C. – (1990). Irradiance variability of the Sun. *NASA Conference Publication 3086: Climate Impact of Solar Variability* (K. H. Schatten et A. Arking, Eds): 269-278. Proceedings of a conference held at NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, April 24-27, 1990.

GIOVANNINI, B. – (1989, Octobre 17). Wie den Treibhaus-Effekt verringern? *Neue Zürcher Zeitung*, 23-24. Une version française de cet article peut être obtenue du professeur Giovannini, vice-recteur de l'Université de Genève.

GROSS LEVI, B. – (1990, February). Climate modellers struggle to understand global warming. *Physics Today* 43: 17-19.

HIRMAN, J. W., HECKMAN, G. R., GREER, M. S. et SMITH, J.B. – (1988, October 18). Solar and geomagnetic activity during cycle 21 and its implications for cycle 22. *EOS* 69: 962, 972 et 973.

IPCC Report – (1990). Scientific assessment of climate change, the policymaker's summary. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ce document peut être obtenu de l'Organisation des Nations Unies, à Genève ou à New York.

KELLY, P. M. et WIGLEY, T. M. L. – (1990, October 4). The influence of solar forcing trends on global mean temperatures since 1861. *Nature* 347: 460-462.

KERR, R. A. – (1990, August 3). New greenhouse report puts down dissenters. *Science* 249: 481-482.

– (1991, January 18). Global temperature hits record again. *Ibid.* 251: 274.

LORIUS, C., JOUZEL, J., RAYNAUD, D., HANSEN, J. et LE TREUT, H. – (1990, September 13). The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse warming. *Nature* 347: 139-145.

MITCHELL, J. F. B. – (1989). The «greenhouse» effect and climate change. *Rev. Geophys.* 27: 115-139.

ROBERT, L. – (1989, November 24). Global warming: blaming the Sun. *Science* 246: 992-993.

SCHNEIDER, S. H. – (1989, September). The changing climate. *Scientific American* 261: 38-47.

SUESS, H. E. – (1953). Natural radiocarbon and the rate of exchange of carbon dioxide between the atmosphere and the sea. *Proceedings of the Conference on Nuclear Processes in Geological Settings,* held in Williams Bay, Wisconsin, September 21-23, 1953 (Univ. of Chicago Press): 52-56.