

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 65 (1974)

Heft: 17

Artikel: Bilan atmosphérique global et croissance de la consommation énergétique

Autor: Müller, R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915443>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.02.2025

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

Landschaftsschutzes. Die meteorologischen und übrigen Auswirkungen des Kühlturmes geben aber, soweit sie bisher abgeklärt worden sind, zu keinen Bedenken Anlass. Dem Projekt erwächst eine gewisse Opposition von seiten des benachbarten Vorarlberg. Durch Gespräche von Experten beider Länder soll die Begründetheit der oppositionellen Argumente abgeklärt werden.

Da wir im Gegensatz zu zahlreichen anderen Ländern auf dem Gebiet der grossen Kühltürme über keine praktischen Erfahrungen verfügen und die im Ausland konstatierten Auswirkungen sich wegen der verschiedenen Topographie

constatations faites à l'étranger ne valent pas sans autre pour les conditions topographiques et météorologiques de notre pays, nous avons tenu, par des études scientifiques, à déterminer le mieux possible les effets probables de ces tours chez nous avant de délivrer des autorisations de construire.

und Meteorologie nicht ohne weiteres auf unsere schweizerischen Verhältnisse übertragen lassen, haben wir Wert darauf gelegt, vor der Bewilligung von Kühltürmen ihre mutmasslichen Auswirkungen durch wissenschaftliche Untersuchungen bestmöglich zu erfassen.

Bilan atmosphérique global et croissance de la consommation énergétique

Extrait du rapport préparé par R. Müller

Auf Grund der Schätzungen über die Weltenergieerzeugung und den Weltenergieverbrauch sowie deren Entwicklung ist es von Interesse, die Auswirkungen der damit verbundenen künstlichen Energieabgabe an die Atmosphäre zu untersuchen. Zu diesem Zwecke wurden von den Sekretariaten der Europäischen Wirtschaftskommission und der Weltorganisation für Meteorologie (OMM) sowie von der Sektion Luftreinhaltung der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt wertvolle Auskünfte und Studien zur Verfügung gestellt. Dies hat erlaubt, den nachfolgend publizierten Bericht über die möglichen Einwirkungen des Energieverbrauches auf das Klima auszuarbeiten.

Au vu des estimations sur la production et la consommation énergétique mondiales et leur développement, il est intéressant d'essayer de voir les répercussions que cette libération artificielle d'énergie a sur l'atmosphère. A cette fin, de précieux renseignements et études ont été fournis par les secrétariats de la Commission économique pour l'Europe et de l'Organisation météorologique mondiale, ainsi que par la Section de la protection de l'air de l'Institut suisse de météorologie. Ils ont permis d'établir le présent aperçu général des effets possibles de la consommation énergétique sur le climat.

1. Croissance de la consommation énergétique et ses rejets dans l'atmosphère

La consommation énergétique actuelle et son augmentation continue dans un avenir relativement proche sont-elles susceptibles d'influencer le climat? C'est une question qui concerne non seulement les pays industrialisés mais déjà le globe terrestre dans son ensemble.

1.1 La consommation mondiale d'énergie

Depuis le début du siècle, le taux annuel de progression de la demande d'énergie primaire dans le monde n'a cessé de croître, exception faite du temps de guerre et de la crise économique mondiale des années trente. Selon les statistiques des Nations Unies, la consommation d'énergie dans le monde ainsi que sa production n'ont augmenté de façon exponentielle et à un taux annuel élevé qu'après la Deuxième Guerre mondiale, comme il ressort de la première colonne du tableau I. L'augmentation relative est nettement plus forte en Afrique et en Asie qu'en Amérique, en Europe et en Océanie.

On s'accorde généralement à admettre que la croissance exponentielle mondiale, qui est actuellement de 5,7 % par an, ne pourra pas augmenter indéfiniment à ce rythme à l'avenir: une augmentation annuelle de 5,5 % entraîne une multiplication de la consommation par un facteur 5 après trente ans. Contrairement à la consommation totale, le taux de croissance de la consommation par habitant est très faible: celle-ci s'est accrue fortement il est vrai dans de nombreux pays, mais elle a aussi diminué dans d'autres, notamment en Afrique et en Amérique latine (Fig. 1).

La consommation brute d'énergie mondiale était en moyenne en 1970 de 1,898 tonnes équivalent charbon par

habitant et par an. Cependant, pour certains pays, la consommation par habitant était six fois plus grande que la moyenne mondiale (par exemple les Etats-Unis d'Amérique), tandis que pour d'autres, elle n'atteignait que 1/200 de cette moyenne. En Europe, la dispersion va de la moyenne au triple de celle-ci environ.

La consommation actuelle d'énergie, dans les pays très industrialisés, n'a pas encore atteint le point de saturation, comme l'indique l'évolution des dernières années. En outre, la population mondiale continuera de croître et de plus, l'écart entre la consommation des pays moins développés et celle des pays industrialisés devrait diminuer. Il s'ensuit que, même dans les conditions de pénurie d'énergie et de hausse des prix, le taux annuel de croissance mondiale de la consommation d'énergie se maintiendra presque au même niveau qu'actuellement, au moins pendant les trente prochaines années. Un taux annuel d'accroissement d'environ 4 % par an paraît assez probable jusqu'à la fin du XX^e siècle et ceci correspond à une période de doublement entre quinze et vingt ans.

Consommation brute d'énergie primaire dans le monde (en 10⁶ tonnes équivalent charbon)

Tableau I

Année	Energie primaire totale	dont			
		Com-bustibles solides	Com-bustibles liquides	Gaz naturel	Hydrau-lique nucléaire et géo-thermique
1929	1713	1367	255	76	14
1950	2519	1569	636	273	41
1960	4233	2205	1323	617	86
1970	6822	2391	2858	1417	157

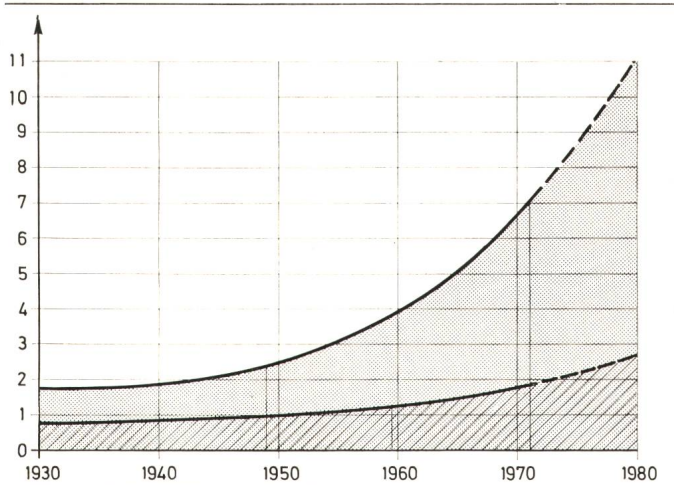
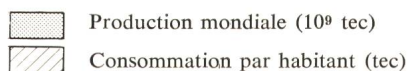


Fig. 1 Production et consommation d'énergie



1.2 La production mondiale d'énergie

On peut distinguer quatre grandes catégories de ressources énergétiques: les combustibles solides, les combustibles liquides, le gaz naturel et l'électricité produite par des sources supplémentaires autres que les combustibles fossiles.

Les combustibles solides comprennent la houille, le charbon brun, le lignite, les sables et schistes bitumineux et la tourbe. Les combustibles liquides sont constitués par le pétrole brut. Les sources supplémentaires permettant la production d'électricité sont les énergies hydraulique, nucléaire, géothermique, solaire et éolienne.

Toutes ces catégories sont les sources primaires de production énergétique. Les sources secondaires, comme le coke, les briquettes, les carburants et les combustibles raffinés, le gaz de ville et l'électricité produite par des combustibles fossiles, dérivent des sources primaires et ne sont pas mentionnées. Dans le tableau 1, les différentes sources d'énergie primaire consommée dans le monde sont indiquées en millions de tonnes équivalant charbon (tec). La consommation mondiale brute d'énergie a été en 1971 de 7096 millions tec, soit d'environ 60 millions de GWh.

L'électricité produite, qui est une forme secondaire d'énergie comme on vient de le mentionner, correspond à 8 à 10 % de la production totale d'énergie primaire. Les trois quarts environ de la production d'électricité proviennent de centrales thermiques classiques ou nucléaires. Les pertes de transformation représentant les deux tiers environ de l'énergie primaire utilisée, l'énergie primaire consommée à cette fin dans ces centrales est donc trois fois plus élevée que l'énergie électrique produite.

1.3 Les rejets dans l'atmosphère dus à l'économie énergétique

On retient en général trois sortes de facteurs influençant l'atmosphère: la chaleur, les particules et les produits gazeux. Les lieux principaux où des rejets dans l'atmosphère peuvent intervenir sont les sites d'extraction, de transformation (raffineries, centrales électriques) et de consommation de l'énergie.

1.3.1 La chaleur

La consommation d'énergie aboutit à une production plus ou moins immédiate de chaleur. Cette dernière constitue dans sa plus grande partie un apport supplémentaire à la chaleur atmosphérique naturelle. A l'heure actuelle, la transformation énergétique qui dégage la plus grande quantité d'énergie est la combustion du pétrole, du charbon et du gaz naturel. L'énergie nucléaire, toutefois, vu sa contribution croissante à la production d'électricité, au dessalement de l'eau, au chauffage, etc., doit aussi être prise en compte. Pour ce qui concerne les énergies secondaires, comme l'électricité, par exemple, ce n'est pas seulement leur consommation mais également leur production qui dégage de la chaleur. Ainsi dans une centrale nucléaire ou thermique classique de construction courante, environ deux tiers de la production énergétique sont relâchés sous forme de chaleur résiduelle alors qu'un tiers est converti en énergie électrique.

Les sources énergétiques qui n'apportent pas de chaleur supplémentaire dans le système terre-atmosphère sont l'énergie hydraulique ainsi que les énergies géothermique, solaire, éolienne et marémotrice. Cependant, comme le montre le tableau I, la consommation d'énergie hydro-électrique, nucléaire et géothermique n'atteignait que deux pour cent de la consommation énergétique mondiale en 1970. En première estimation, on peut donc admettre que, pratiquement, la plus grande partie de la consommation mondiale d'énergie est transformée assez rapidement en chaleur.

1.3.2 Les particules

Les particules provenant de la production et de la consommation énergétique sont les cendres (combustion du charbon, du bois, etc.) et les suies (combustion des produits pétroliers). Il faut également mentionner les poussières produites lors de l'extraction, par exemple du charbon, et la production de vapeur d'eau découlant de la combustion ou des systèmes de refroidissement par évaporation; leur influence est, toutefois, avant tout locale. L'origine des particules dans l'atmosphère est difficile à déterminer. Il faut comparer les sources naturelles (cendres provenant des éruptions volcaniques, gouttelettes d'écume, poussières des régions désertiques, etc.) aux sources d'origine humaine (combustion, mouvements de terrain, poussière résultant des travaux agricoles, etc.). Le diamètre des particules peut varier entre 10^{-7} et 10^{-2} cm. On estime que chaque année, environ 200 à 400 Mt de particules d'un diamètre inférieur à 40μ sont émis ou formés dans l'atmosphère à la suite des activités humaines. La formation naturelle est actuellement plus élevée. Elle atteint 750 à 2200 Mt par an.

1.3.3 Les produits gazeux

L'anhydride carbonique (CO_2) est le principal gaz produit par la combustion, mais on pourrait également mentionner l'anhydride sulfureux (SO_2), les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone, etc. La production de résidus gazeux est aggravée par la consommation d'air nécessaire à la combustion.

a) L'anhydride carbonique

On constate qu'au cours de cent dernières années, la concentration moyenne de CO_2 dans l'atmosphère est passée de 290 à 320 parties par million (ppm), correspondant à une production de 9 milliards de tonnes de CO_2 en 1957 et 13,5

milliards de tonnes de CO₂ en 1967. Une augmentation exponentielle de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère a été observée depuis 1958. La concentration future de CO₂ dépendra de deux facteurs:

- la quantité de CO₂ qui sera ajoutée à l'atmosphère par la combustion,
- la part qui en restera dans l'air.

Actuellement, on estime qu'environ la moitié du CO₂ émis reste dans l'air. L'autre moitié est recyclée par la biosphère ou dissoute dans les océans. On prévoit qu'en l'an 2000 la teneur de l'atmosphère en CO₂ sera d'environ 390 ppm, en supposant que deux tiers de l'anhydride carbonique produit seront éliminés rapidement dans l'atmosphère soit dans les océans, soit par la végétation terrestre.

b) Autres gaz

Dans la région de Los Angeles (Etats-Unis d'Amérique) notamment, on constate un phénomène atmosphérique qui provient des activités humaines: le *smog*. Cette pollution photochimique s'est également manifestée au-dessus de plusieurs autres grandes agglomérations dans le monde. La lumière solaire ainsi que la présence d'hydrocarbures réactifs et d'oxydes d'azote produits par la combustion du pétrole sont à l'origine de sa formation.

La combustion du charbon est la source la plus importante d'émission d'anhydride sulfureux. Dans l'atmosphère, ce gaz est transformé en particules solides par différentes réactions d'oxydation. En 1970, la quantité de SO₂ produite par l'activité humaine représentait un tiers à la moitié de la production naturelle d'origine volcanique principalement. En l'an 2000, l'homme pourrait produire par ses activités autant de SO₂ que la nature.

Le monoxyde de carbone provient principalement des océans, mais aussi de la combustion des combustibles fossiles. Sa durée de vie est approximativement d'une année et sa concentration dans l'atmosphère actuellement environ de 0,1 ppm.

2. Les effets potentiels sur l'atmosphère de l'économie énergétique

2.1 Variations climatiques naturelles

A travers les âges géologiques et historiques, le climat global de la planète a considérablement changé. Grâce aux observations météorologiques effectuées en Europe durant les dernières 250 années, il est facile de montrer que le climat d'une région tend à changer fortement, ceci également pendant des périodes relativement courtes d'une durée de 50 à 100 ans. Ni les variations climatiques des âges géologiques ni les fluctuations récentes ne sont de nature cyclique: elles changent continuellement en grandeur et en période. Des prévisions sur l'évolution future des climats, basées sur des événements du passé, sont donc extrêmement difficiles. Il est possible de retracer le climat mondial depuis 500 millions d'années grâce aux traces laissées dans les glaces du Groenland, par exemple. Le climat est resté stable pendant une grande partie de cette période, mais depuis un million d'années, des facteurs importants ont dû l'influencer, car des fluctuations climatiques ont provoqué quatre périodes glaciaires entrecoupées de trois époques interglaciaires. La dernière période glaciaire s'est terminée il y a 10 000 ans seule-

ment. Il est impossible de savoir si on vit maintenant dans une courte période interglaciaire ou si le climat mondial tend à demeurer stable, comme il le fut avant les périodes glaciaires. Cette dernière possibilité est toutefois peu probable au vu des fluctuations constatées pour les dernières 10 000 années. Une chaîne de réactions vraisemblables pour expliquer le changement du climat est la suivante: le bilan de rayonnement de la terre est modifié au début, ce qui provoque un changement de la circulation atmosphérique générale. Ces nouvelles conditions de circulation modifient les températures et les précipitations de régions plus ou moins étendues.

La température mesurée sous diverses latitudes est graduellement montée de 1880 à 1940; depuis, un refroidissement continu a été observé (Fig. 2).

2.2 Influences humaines

On a observé l'existence de réactions en chaîne pouvant modifier naturellement les climats, mais on en ignore encore les causes premières. Les activités humaines qui influencent le climat se greffent sur ces changements naturels.

Bien avant l'ère industrielle, les hommes ont exercé des activités qui ont provoqué des modifications climatiques: en brûlant des forêts, ils ont modifié le bilan naturel en chaleur et en eau de vastes régions, altérant ainsi les conditions climatiques. L'élevage n'est pas non plus sans influence sur le climat, comme le prouve le dessèchement qu'ont connu certains rivages de la Méditerranée à la suite de la pâture extensive des moutons et des chèvres.

2.2.1 La chaleur

Une des plus importantes interventions de l'homme dans le bilan atmosphérique est probablement l'augmentation quantitative de la chaleur due à la consommation d'énergie.

La consommation totale d'énergie en 1970 - 6822×10^6 tonnes équivalent charbon - représente environ 0,0125 % de la quantité moyenne d'énergie fournie annuellement par le soleil à la Terre. Cet apport supplémentaire constitue donc encore une quantité négligeable par rapport au bilan énergétique total, même s'il représente environ vingt fois l'énergie libérée sur terre par les volcans et les sources chaudes. Néanmoins, avec le rythme admis pour la croissance de la consommation d'énergie, cet apport supplémentaire dû aux activités humaines atteindra, vers les années 2010, un dixième de pour cent de l'énergie fournie par le soleil, et certains spécialistes estiment que le réchauffement qui en résultera pourrait être de nature à perturber sérieusement le climat de l'ensemble du globe. Lorsque cet apport sera égal à un pour cent de l'énergie solaire incidente, ce qui pourrait se produire au début de la deuxième moitié du XXI^e siècle, il est presque certain que des modifications climatologiques surviendront, sauf dans le cas où une grande partie de l'énergie consommée sur terre proviendrait de la transformation de l'énergie solaire incidente.

Sur un plan local, la situation est encore plus préoccupante. En Europe, l'apport supplémentaire d'énergie représente déjà 0,35 % de l'énergie solaire incidente, mais il y a des pays pour lesquels ce pourcentage s'élève à 1,7 % (par exemple la Belgique). Aux Etats-Unis, dans la région de San Francisco, on est même arrivé à 5 %. Certainement, la chaleur supplémentaire est en grande partie dissipée par les

A: Augmentation de la température

B: Anhydride carbonique

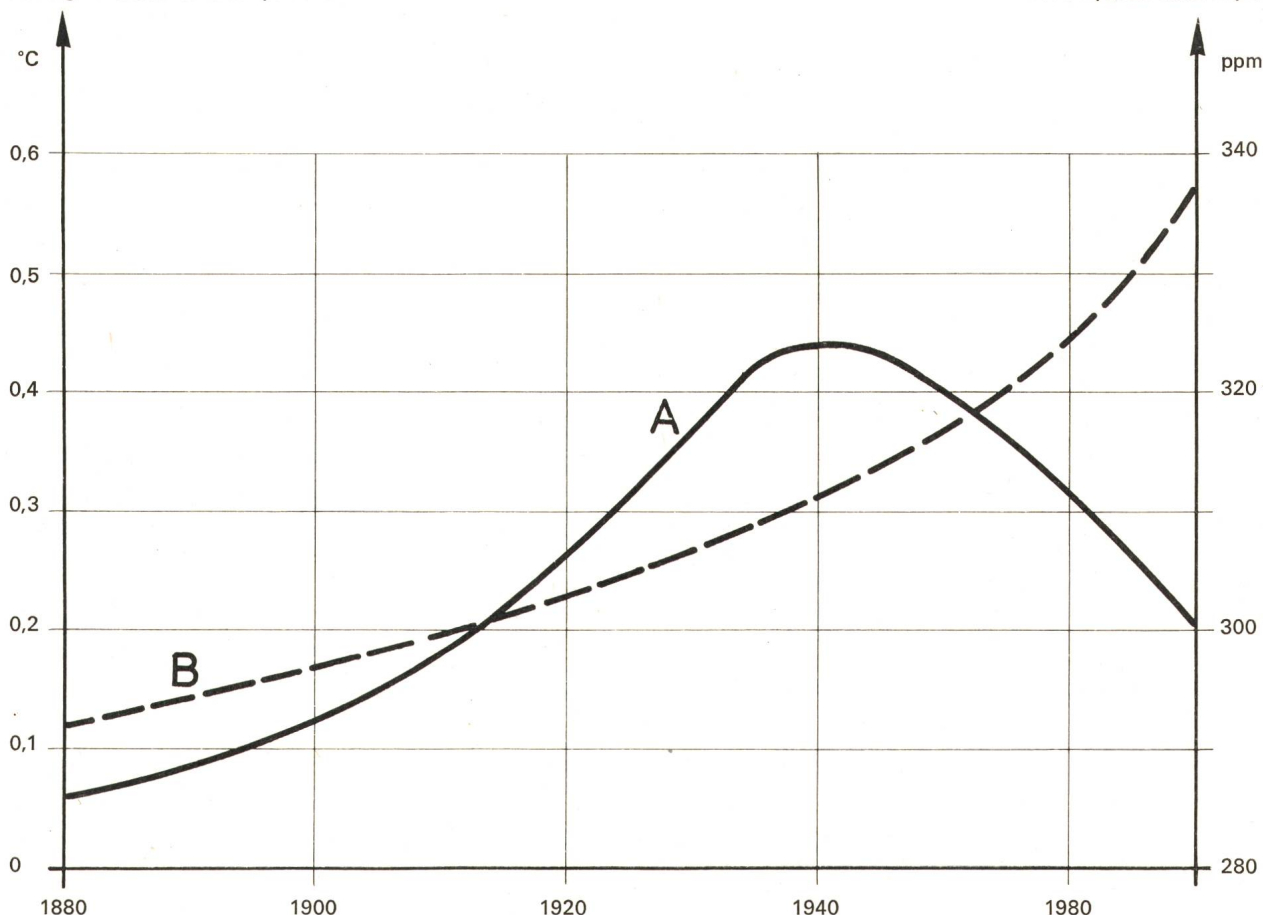


Fig. 2 Relation entre la température et la concentration en CO_2

vents et dans les eaux. Cependant, certaines modifications du microclimat ont déjà été constatées dans les régions où l'énergie consommée dépasse 1 % de l'énergie solaire. La quantité de chaleur supplémentaire pourrait donc influencer la circulation atmosphérique dans certaines régions et éventuellement aussi la circulation générale de l'atmosphère. Les grandes régions industrialisées sont assez souvent dans le champ d'action des vents d'ouest et pour cette raison encore des changements météorologiques considérables sont possibles.

2.2.2 Les particules

Quels pourraient être les effets d'une augmentation du nombre des particules dans l'atmosphère? On peut s'attendre à une modification de l'albédo globale (c'est-à-dire du pouvoir terrestre et atmosphérique de refléter le rayonnement solaire) à la suite de la présence de ces particules. D'autres facteurs peuvent également intervenir, comme les nuages qui se forment par suite de leur présence.

L'intensité du rayonnement solaire qui arrive à la surface de la terre diminue, ce qui pourrait abaisser la température de l'air. En outre, la formation de nuages, susceptible d'augmenter à cause des particules, entraîne deux incidences opposées sur le climat: d'une part l'accroissement de l'absorption des ondes longues par la surface terrestre, ce qui augmente la température de l'air, et d'autre part une réduction du rayonnement solaire, ce qui la diminue. On estime toutefois que

l'effet général d'une augmentation sensible du nombre des particules dans l'atmosphère a tendance à faire baisser la température à la surface de la terre. Des changements de la température terrestre d'un ordre de grandeur de $-0,05$ °C par période de dix ans ont été estimés; toutefois l'introduction massive de particules dans la troposphère pourrait modifier ces valeurs.

Les particules formées par les émissions artificielles d'anhydride sulfureux n'auront probablement pas d'importance sur le bilan de rayonnement de l'atmosphère au cours des trois prochaines décennies.

2.2.3 Les produits gazeux

Une augmentation de la concentration de l'anhydride carbonique dans l'atmosphère provoque une augmentation de la température de la surface terrestre par suite de l'absorption des rayonnements de grandes longueurs d'ondes (effet de serre). Comme conséquence de l'augmentation de la température, les océans libèrent une partie du CO_2 dissout, phénomène qui tend à élever encore la température de la surface terrestre. Toutefois, un échauffement de l'atmosphère entraîne une augmentation du taux de vapeur d'eau et favorise la formation des nuages, ce qui a un effet contraire, comme dans le cas déjà mentionné des particules. Les estimations quant à l'échauffement de la surface terrestre par un doublement de la teneur atmosphérique en CO_2 varient entre $+0,5$ et $+2$ °C. Un autre modèle prévoit une augmenta-

tion de la température terrestre de +0,5 °C entre 1971 et l'an 2000, ordre de grandeur comparable à celui qui entraîna les fluctuations climatiques enregistrées au cours du siècle dernier.

L'influence d'autres produits gazeux sur la formation du *smog* régional a déjà été mentionnée. En ce qui concerne le monoxyde de carbone, il n'y a pas d'effets nuisibles à prévoir sur le climat, si ce n'est une légère variation du taux d'ozone dans la stratosphère.

2.2.4 Effets de déclenchement

Il est possible que l'augmentation des rejets dus à l'activité humaine trouble l'équilibre délicat du bilan thermique de l'atmosphère: les glaces polaires ont une très grande influence sur les climats et la circulation atmosphérique générale, principalement en raison de la différence d'albédo entre la glace et l'océan. C'est ainsi que l'on a calculé qu'une diminution de la radiation solaire de seulement 1 % abaisserait par elle-même la température moyenne de la Terre de 1,5 °C; mais on a calculé aussi que ce changement provoquerait l'extension des glaces polaires ce qui, en modifiant l'albédo, causerait une diminution de la température de 5 °C et suffirait à amorcer une nouvelle ère glaciaire.

En revanche, si l'augmentation de la teneur en CO₂ ou la chaleur produite par l'homme provoquait un échauffement qui ferait fondre la calotte de glace du Groenland, le niveau des mers s'élèverait de 7 m et inonderait bien des régions. Des grandes quantités de poussières déposées sur les régions recouvertes de neige et de glace pourraient aussi provoquer un échauffement additionnel, en augmentant l'absorption du rayonnement solaire.

3. Conclusions

Au cours des dernières années sont apparues de nombreuses publications scientifiques et de vulgarisation sur les conditions de la croissance économique. Certains auteurs jouent aux prophètes de la fin du monde. Cette littérature a eu le grand mérite de rendre attentifs au fait que les ressources de la Terre sont limitées. A l'opposé, les estimations sur l'augmentation des besoins aboutissent souvent à des résultats absurdes, quand ils se fondent pour les prévisions à long terme sur des augmentations exponentielles. On a trop tendance à oublier le facteur humain qui n'a pas la logique mathématique des modèles construits pour tenter de saisir l'avenir. On se rend compte de plus en plus que l'atmosphère aussi doit être ménagée. Elle met certaines limites aux activités de l'homme. De cet essai de les entrevoir on peut tirer les conclusions suivantes:

– La situation globale concernant les risques de changements atmosphériques provoqués par la croissance industrielle ne doit pas être dramatisée pour le proche avenir, mais l'état de certaines régions industrialisées est déjà préoccupant.

– Les effets de déclenchement exigent toute la vigilance des experts, étant donné l'instabilité du bilan atmosphérique.

– Les connaissances sur les effets potentiels de divers facteurs déjà cités étant encore insuffisantes, il faudrait continuer d'améliorer les réseaux météorologiques aux niveaux régionaux et mondiaux et encourager le développement des modèles de calculs.

Adresse de l'auteur:

R. Müller, Office fédéral de l'économie énergétique, case postale, 3001 Berne.