

albédo
climat
consommation d'énergie
effet de serre

énergie solaire
flux thermique solaire
gaz carbonique
pollution thermique

prospective
température
terre
vapeur d'eau

Répercussions climatiques de l'utilisation des énergies primaires.

Cas de l'énergie solaire.

par I. PEYCHES

Membre de l'Institut

La Terre a connu dans le passé de grosses modifications climatiques, dont la plus récente, la quatrième glaciation dite de Würm en Eurasie, et du Wisconsin aux Amériques, s'est achevée il y a environ 10000 ans. Comme chacun sait, il est résulté alors du réchauffement général un retrait des glaciers continentaux, la fusion partielle des calottes polaires, et, comme conséquence, une montée du niveau moyen des eaux océaniques qui, jointe au basculement isostatique des parties continentales allégées, a pu atteindre 100 à 140 m. L'élévation de température moyenne, appréciée à partir des aires de répartition arboricole et l'étude des pollens, n'a pas dû dépasser 5 à 6°C.

Les hypothèses sur les causes de ces changements sont diverses et font appel à des conditions internes (poussières volcaniques) ou externes (astronomiques). Mais la plus vraisemblable est une modification du flux énergétique solaire reçu par la Terre, par suite de la traversée, par le système solaire, de nuages cosmiques denses. On a reconnu que, dans la rotation de la galaxie, des mouvements différentiels amènent notre Soleil à traverser de telles régions denses dont les bras galactiques sont riches. Evidemment, devant l'échelle des temps géologiques, la période durant laquelle des mesures précises ont été effectuées est parfaitement négligeable et on a pu parler de Constante Solaire pour le flux énergétique solaire. Celle-ci est égale à

$$1,95 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}.$$

En langage de thermicien, cela correspond à un peu moins de 1200 kcal/m²h (5000 kJ) ou 1,4 kWh/m². Cette constante a été mesurée au pyrohéliomètre au sol, après correction de l'absorption atmosphérique, par temps clair, en extrapolant la courbe relative à l'épaisseur réduite pour plusieurs distances zénithales.

En fait, cette "constante" varie périodiquement, légèrement, au cours de l'année. L'amplitude de la variation est de 7 %. L'aphélie, correspondant à l'été dans notre hémisphère boréal, donne à cette constante sa valeur minimale. L'été austral est plus favorisé puisqu'il correspond au périhélie. Mais la moyenne depuis plusieurs siècles ne varie pratiquement pas. Les astronomes constatent que notre système solaire commence à pénétrer dans le bras dit d'Orion de la spirale galactique. Dans quelques milliers d'années la constante solaire pourra être sérieusement affectée ; mais cette éventualité n'est pas à prendre en compte pour une étude prospective à court et moyen terme.

L'équilibre thermique de la Terre est obtenu par l'identité de l'énergie solaire absorbée par le système Terre-atmosphère, et de l'énergie rayonnée dans l'espace par ce système ; la première est apportée dans un domaine de courtes longueurs d'onde, la seconde est perdue par le rayonnement de grande longueur d'onde correspondant à la température d'équilibre du système.

Ce que nous voulons savoir, c'est si l'apport artificiel de calories du fait des activités de l'Homme, ou si le prélèvement d'une part de l'énergie solaire comme source primaire d'énergie, sont susceptibles de modifier cette température d'équilibre et donc de réagir sur les climats.

On sait depuis longtemps que si le bilan radiatif à l'échelle planétaire est nul, ce bilan, c'est-à-dire la différence entre le flux énergétique incident W_0 et la somme des flux réfléchis W_R et réémis W_E , peut être positif - c'est le cas des régions équatoriales - ou négatif - c'est le cas des régions polaires. La différence de température en résultant est le moteur des courants atmosphériques et marins. Mais pour une approche de notre problème nous ne pouvons pas considérer ces bilans régionaux,

mais traiter la planète entière. L'albédo planétaire, α , est le quotient de l'énergie réfléchie W_R par l'énergie incidente W_0 .

S'il est aisé de mesurer le facteur de réflexion au niveau du sol, on est resté longtemps dans l'incapacité de faire une mesure directe de l'albédo du système terre-atmosphère. Danjon, en 1936 avait, à Strasbourg, déduit l'albédo planétaire (albédo de Bond) de la lumière cendrée de la Lune, due à la réflexion de la "pleine Terre". Le chiffre trouvé, 0,39, a été longtemps la seule donnée disponible, et ceci jusqu'à l'ère des satellites artificiels. Il faut d'ailleurs préciser que l'albédo moyen mesuré à partir d'un instrument évoluant au-delà de l'atmosphère n'a un sens, en ce qui nous concerne, que si les déterminations ont porté sur une durée suffisamment longue pour chaque saison, et de préférence sur une ou plusieurs années. C'est Nimbus 3, au cours de la période 1969-1970, qui a apporté les résultats les plus complets. L'albédo moyen est beaucoup plus faible qu'admis jusqu'ici, $\alpha = 0,284$. Les photographies de la Terre prises par satellites hauts nous ont habitués à l'importance de la couche nuageuse qui enveloppe la Terre.

La figure 1 représente les aires d'isoreflexion (albédo); les parties les plus sombres représentent les zones de forte absorption.

Un grand cercle terrestre perpendiculaire au rayonnement solaire, de surface $S/4$ — S étant la surface de la Terre : 510.10^6 km^2 — reçoit, hors de l'atmosphère, le quart de la constante solaire, soit $0,487 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$. Du fait de l'albédo, 71,6 % de ce rayonnement est effectivement absorbé par le système terre-atmosphère, soit $0,349 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$. La mesure directe du rerayonnement du système, effectuée entre autres

par le satellite Meteor 2 (de 4 à $200 \mu\text{m}$), a donné $0,345 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$. La différence n'est pas significative et est à l'intérieur des limites de précision des mesures. L'équilibre est donc bien confirmé et ce sont ces valeurs qui ont conduit à la détermination de la température effective de radiation du système, de 255 K. (Il est à noter dès maintenant que l'effet de serre dû à l'atmosphère chargée de CO_2 et de vapeur d'eau, transparents pour le rayonnement solaire mais opaques pour l'infrarouge réémis, entraîne une température moyenne de la surface terrestre de 286 K, soit $+13^\circ\text{C}$. On sait que sur Vénus la présence massive de CO_2 porte la température au sol à 700 K pour une température du système Vénus-atmosphère de 265 K).

L'équilibre s'écrit alors

$$\frac{S}{4} (1 - \alpha) W_0 = S \epsilon \sigma T^4, \quad (1)$$

S , surface de la Terre, ϵ pouvoir émissif pour l'infrarouge (# 1), σ C^{te} Stéphan.

En fait, nous devrions ajouter dans le premier terme le flux de chaleur interne (géothermique), émis par toute la surface S , mais il est de l'ordre de quelques 10^{-4} de W_0 . Ce terme étant constant n'interviendra pas dans notre calcul ; par contre l'énergie libérée par l'Homme, W_i , quoique du même ordre de grandeur, sera à introduire car c'est le paramètre variable que nous allons étudier.

Le nouvel équilibre dû à l'intervention de l'Homme s'écrit cette fois :

$$\frac{S}{4} (1 - \alpha) W_0 + S W_i = S \epsilon \sigma T'^4 \quad (2)$$

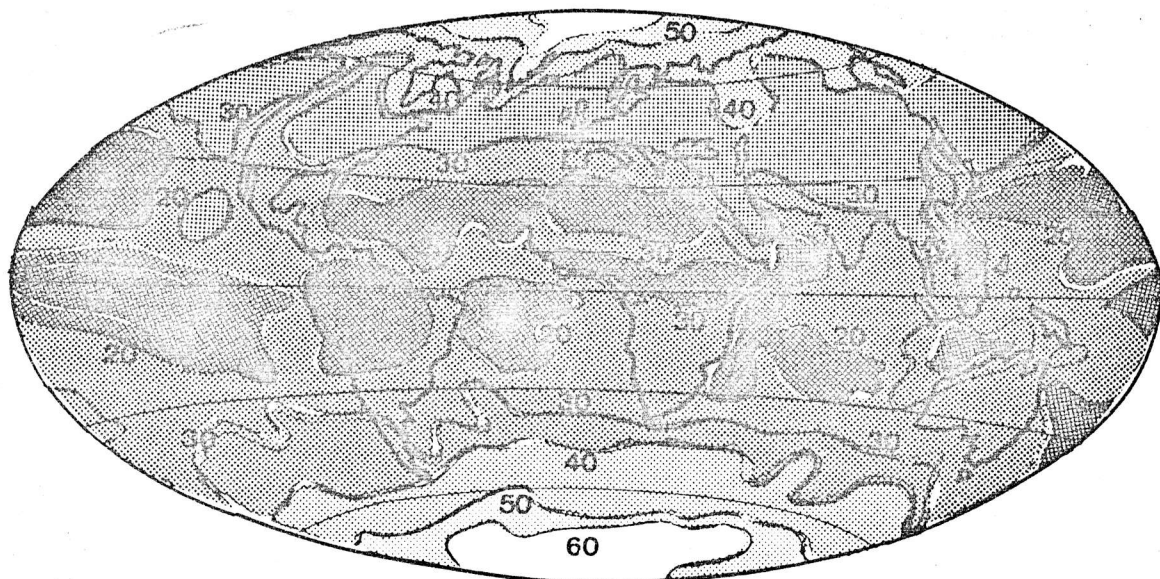


Fig. 1. — Albédo annuel du système terre-atmosphère d'après [1] (Nimbus 3).
Earth-atmosphere system yearly albedo according to [1] (Nimbus 3)

Si nous faisons le rapport (2) sur (1), il vient, en posant $T' = T + \Delta T$ qu'on développe en série réduite aux premiers termes :

$$\Delta T = \frac{T}{1 - \alpha} \cdot \frac{W_i}{W_0}$$

En remplaçant T et α par leurs valeurs, il vient, en chiffres arrondis :

$$\Delta T = 360 W_i / W_0. \quad (3)$$

Or, si au milieu du siècle dernier, W_i / W_0 était de l'ordre du millionième, ce rapport est aujourd'hui de l'ordre de 1/10 000. En effet, en 1970 la consommation mondiale d'énergie a été de $0,6 \cdot 10^{17}$ kcal, ou $0,7 \cdot 10^{14}$ kWh (thermiques), alors que l'énergie reçue annuellement par le système terre-atmosphère est de l'ordre de $0,775 \cdot 10^{18}$ kWh.

En prenant en compte l'accroissement démographique et l'accroissement moyen de l'énergie "per capita", il faudrait s'attendre à une consommation 25 fois supérieure en 2050.

Cette perspective est-elle réaliste ? Un développement exponentiel du peuplement humain et de ses besoins d'énergie est évidemment démentiel. Des asymptotes s'imposent. A la suite des travaux du Club de Rome, on a admis une asymptote démographique plafonnant entre 12 et 15 milliards d'êtres humains. D'autre part, on prévoyait un lent accroissement de la consommation des pays du tiers monde, ne se manifestant qu'au cours de la deuxième partie du XXI^e siècle. Or, des faits nouveaux sont venus bouleverser ces prévisions. D'abord l'échec de la Conférence de Vienne sur la démographie. Les pays du tiers monde n'entendent pas limiter les naissances, et l'amélioration des conditions sanitaires de la prime enfance, va permettre la poursuite ou l'accélération du développement exponentiel. Ensuite, ce qu'il est convenu d'appeler la crise du pétrole. La recherche systématique de nouvelles sources d'énergie va hâter leur avènement ; ainsi l'arrivée de l'énergie solaire, prévue en 1970 pour le milieu du prochain siècle, démarrera au cours des prochaines décennies. Enfin, le fait le plus important réside dans la prise de conscience par les pays du tiers monde d'une possibilité de valorisation de leurs ressources naturelles, en tout premier lieu, du pétrole. Très rapidement, les nations détentrices de ces ressources, s'enrichissent, ce qui les amène à hâter le processus d'industrialisation par l'achat et l'implantation d'équipements et, par solidarité ou pour toute autre raison, à aider financièrement les nations du tiers monde non dotées de ressources pétrolières, à s'équiper à leur tour.

A part la seconde raison qui, temporairement, oriente les nations industrielles plutôt vers une économie d'énergie, les autres poussent à une consommation accrue. La prévision d'une consommation globale tendant vers une

asymptote cinq à six fois supérieure à la consommation de 1970, sera sans doute fortement dépassée. L'extrapolation pure et simple du proche passé, et qui nous conduit à l'hypothèse d'une consommation quatre fois plus grande que l'asymptote, et atteinte plus vite, est sans doute outrée, mais à envisager comme une possibilité.

Cette perspective de consommation n'est point trop éloignée, puisque les enfants nés aujourd'hui ont des chances de voir cette date. Le rapport W_i / W_0 passera alors à 1/400, ce qui donne, transporté dans (3), une élévation moyenne de température du globe de $0,9^\circ\text{C}$. Admettons, pour la suite du raisonnement et pour prendre un chiffre rond : 1° . L'énergie déstockée sera alors $1,5 \cdot 10^{18}$ kcal. En fait, nous devrions défalquer de W_i la part qui relève déjà de l'énergie solaire : l'énergie hydraulique provenant des retombées de l'eau évaporée, et l'énergie éolienne ; la première seule est importante, mais ne représente encore qu'un peu plus de 2 % de l'énergie totale utilisée et son développement sera faible. L'accroissement de la demande sera essentiellement satisfait par les combustibles indigènes : fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel), nucléaires, et par la géothermie. Or toutes ces sources d'énergie mettent en jeu des calories qui, si l'Homme n'était pas intervenu, seraient restées prisonnières dans les mines, dans l'uranium, ou dans les entrailles de la Terre, ou tout au plus auraient été très lentement libérées (radioactivité, fuites géothermiques). C'est cet apport supplémentaire d'énergie qui est inquiétant. En effet, la faiblesse du chiffre de 1° ne doit pas faire illusion. Il s'agit de l'élévation moyenne de température pour l'ensemble du Globe, ce qui n'a un sens que pour un bilan planétaire. Il nous faut d'abord tenir compte du fait que cette énergie ne sera massivement dégagée que sur les continents. Ensuite, que ce sont les zones déjà fortement industrialisées et celles où est recherché un grand confort, qui seront touchées : les Etats-Unis, le Canada, l'Europe, l'URSS, le Japon, ce qui intéressera une cinquantaine de millions de km^2 , soit le 1/10 de la surface de la Terre. Evidemment, quoique les explorations aériennes en infrarouge aient reconnu l'existence de dômes de chaleur au-dessus des villes, la chaleur dégagée dans cette ceinture, grossièrement située entre le trentième et le soixantième degré de latitude nord, ne restera pas entièrement au-dessus des sources. Le brassage atmosphérique, les courants marins, tendront à étaler cet apport de chaleur ; sans quoi, et en supposant que la moitié de l'énergie dégagée dans le monde l'est dans ce 1/10 de la surface terrestre, l'élévation de température y serait non plus de 1° , mais de 5° ! Par assimilation avec l'étalement des dômes de chaleur, nous pouvons penser que le gradient de température, moteur du brassage, maintiendra un excès de température de 3°C .

Dès cet instant interviennent de singuliers effets multiplicatifs et auto-dérégulateurs.

Nous constatons d'abord que les zones-sources jouxtent la calotte polaire boréale. Dans l'hémisphère

austral il y a peu de terres industrialisables et la calotte polaire repose sur un socle continental, avec une énorme épaisseur de glace dont la diminution n'affecterait pas l'albédo local. Au contraire, dans l'hémisphère nord nous avons affaire à une banquise et à des neiges saisonnières. La quantité de chaleur déstockée et finalement rejetée dans l'environnement à l'échelle planétaire, en 2050, accroîtra, du fait de l'augmentation de la température moyenne de 1° , le rerayonnement terrestre de 1,6 % ; le reste se retrouvera sous forme de chaleur sensible dans l'eau et les continents réchauffés, et de chaleur latente dans la fusion des glaces et l'évaporation des eaux. Si ces $1,5 \cdot 10^{18}$ kcal libérés servaient uniquement à faire fondre les glaces, elles mobiliseraient un peu plus de 18000 km^3 d'eau, qui, s'étalent sur les 360 millions de km^2 de surfaces océaniques feraient monter le niveau d'une manière insignifiante : 5 cm au cours de l'année. Mais au fil des ans, et la fusion annuelle s'accroissant par suite de la diminution d'albédo, son effet serait cumulatif. On a pu calculer que si la constante solaire augmentait de 1 %, c'est l'ensemble des calottes glacières des deux pôles qui disparaîtraient peu à peu, entraînant, avec leurs 30 millions de km^3 d'eau mobilisés, une élévation du niveau des océans de 80 m.

De toutes façons, nous cherchons seulement une indication sur le sens du phénomène, dont les conséquences sont doubles. La transgression marine, qu'a d'ailleurs connue à plusieurs époques interglacières notre planète, substitue le facteur d'absorption de l'eau, qui est 0,90-0,95, à celui des terrains, qui est de l'ordre de 0,70. De même, la neige qui n'absorbait que 10 % laisse la place aux terrains avec leur 70 % d'absorption. Quoique jouant dans le même sens, ce dernier phénomène est évidemment le plus important car les surfaces enneigées saisonnièrement intéressent dans l'hémisphère nord de grandes surfaces. On peut en avoir une idée en comparant les isothermes 0°C en janvier et en juillet (figure 2). L'enneigement saisonnier recouvre 80 % des 50 millions de km^2 qui constituent les zones de grand dégagement de chaleur dont il a été parlé précédemment. L'élévation de température moyenne entre janvier et juillet est, dans ces mêmes zones de l'ordre de 20° , et fait disparaître la neige sur 40 millions de km^2 ; on peut supposer que l'élévation de température de 3° , due au déstockage, fera régresser la zone enneigée hivernale sur 6 millions de km^2 .

Ces 6 millions de km^2 reçoivent en six mois près de 10^{16} kWh supplémentaires [2], ce qui a pour effet de faire régresser encore un peu plus la limite enneigée. Francia [2], de l'Université de Gênes et spécialiste des questions solaires et climatiques, fait d'ailleurs remarquer qu'il convient de considérer séparément le semestre d'hiver et le semestre d'été, et qu'il n'y a pas compensation puisque les activités humaines sont concentrées dans l'hémisphère nord. L'énergie dégagée est supérieure en hiver (chauffage) alors que le rayonnement terrestre diminue, de même que l'apport solaire. Pour

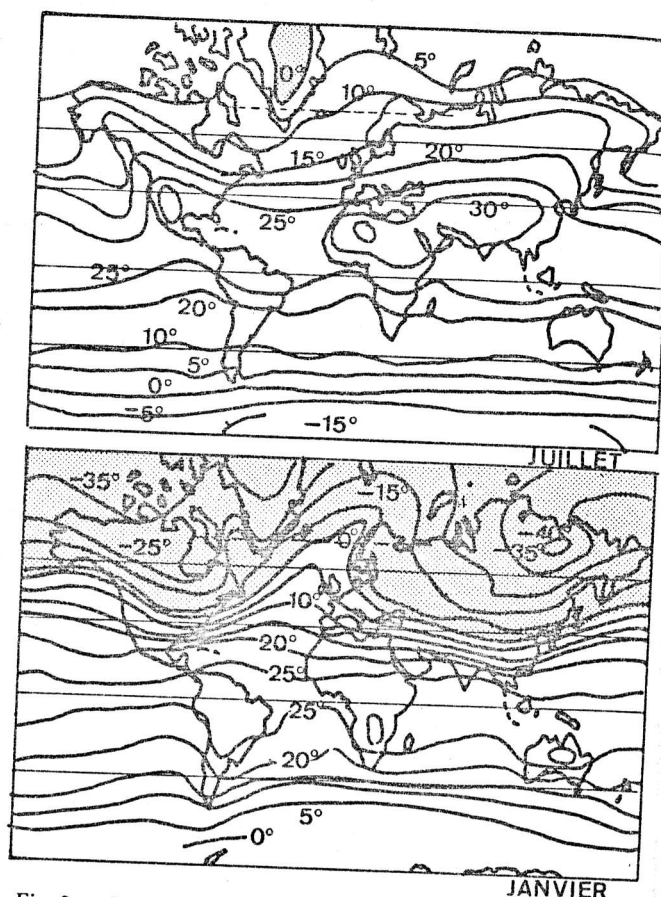


Fig. 2. — Isothermes — Surfaces enneigées en janvier et en juillet
Isotherms — Snowed surfaces in January and in July

traiter cet ensemble complexe de données il est nécessaire d'avoir recours à des modèles mathématiques des climats. Plusieurs ont été proposés ; ils tendent tous à montrer que la présence sur notre planète de calottes glacières et de zones enneigées confère de toutes façons de l'instabilité au système par suite des modifications d'albédo qu'entraînent leurs variations. L'effet de feedback s'épuise d'ailleurs à mesure que la zone déenneigée remonte vers le nord et reçoit de moins en moins d'énergie solaire.

Nous n'avons pris en compte jusqu'ici que les transports et échanges de chaleur. L'utilisation de combustibles fossiles carbonés qui assurent actuellement la quasi totalité de la fourniture d'énergie, pose le problème sur un autre plan, et malheureusement joue encore dans le même sens : celui d'une augmentation de température. Il s'agit de l'effet de serre qui résulte de la présence de gaz carbonique dans l'atmosphère. Le gaz carbonique, comme la vapeur d'eau, laissent passer le rayonnement solaire de courte longueur d'onde, mais "piègent", comme il a été dit, l'énergie atteignant le sol. Or, depuis la fin du XIX^e siècle, la quantité de gaz carbonique dans notre atmosphère a augmenté de 10 à 15 %. De 1920 à 1970 la teneur en dioxyde de carbone est passée de 0,30 % à 0,34 %, soit, en 50 ans

une augmentation de 7 %. Malgré l'accroissement du rendement de la photosynthèse avec la proportion de CO_2 dans l'atmosphère et la dissolution dans les océans (carbonates), la moitié du carbone seulement est refixée. On a pu calculer que l'augmentation de CO_2 dans l'atmosphère est déjà responsable d'un échauffement de 2/10 de degré. Cet échauffement sera de $0,5^\circ$ en 2000, et de 2° si le taux actuel de 0,2 % l'an doublait.

Jusqu'ici la pollution de l'atmosphère par les fumées et les poussières accompagnant la combustion des produits carbonés, a pu freiner l'apport dû au rayonnement solaire. La lutte actuellement entreprise pour éliminer cette forme de pollution a donc sa contrepartie : le rayonnement solaire arrivera mieux et repartira moins bien !

La relève des combustibles carbonés par l'énergie nucléaire transpose le problème. Ce n'est plus le dégagement de CO_2 qui intervient, mais celui, massif, de vapeur d'eau, autant que le refroidissement se fera par ce moyen (évaporateur diabolique). Une centrale de un gigawatt électrique rejette dans l'atmosphère 3 gigawatts thermiques. Ce sont 100 000 tonnes de vapeur d'eau qui sont rejetées journellement dans l'atmosphère. La part nucléaire dévolue à la production d'énergie dans le Monde s'accompagnerait dans ce cas du rejet de 10 milliards de tonnes d'eau, chiffre qui n'est pourtant que le centième des 1000 milliards de tonnes évaporées chaque jour de la surface des océans et des couverts végétaux, mais qui intéressent plus localement les zones de production d'énergie. A l'état de vapeur, cette eau forme à nouveau, comme le CO_2 , un écran calorifuge. Il faudrait que cette vapeur se condensât en nuages pour augmenter l'albédo planétaire et freiner l'apport d'énergie solaire. Mais la pression de vapeur saturante s'élève de 14 % pour 2° aux températures qui nous intéressent. L'effet calorifuge devrait dominer.

Tous les processus que nous avons envisagés contribuent à augmenter la température de la Terre, d'une manière sensible à court terme et à l'échelle de la planète, mais d'une manière beaucoup plus importante dans la ceinture industrialisée. Il est évident qu'une telle augmentation de température aurait des répercussions sur la circulation des courants et affecterait les climats jusqu'à les rendre torrides !

Peut-on freiner cette débauche de chaleur ? La tendance est déjà, pour d'autres raisons, aux économies d'énergie mais cela n'ira pas loin. Tous les processus thermodynamiques de conversion d'énergie sont pénalisés par le rendement de Carnot. La première génération des centrales nucléaires, mettant en œuvre des sources chaudes à moins de 500°C n'ont pas un rendement excellent. L'avènement des HTR améliorera celui-ci. Les cycles thermochimiques de production d'hydrogène, utilisé ultérieurement pour activer des piles à hydrogène, échappent aux contraintes des conversions thermodynamiques. Le rapport de l'énergie utilement consommée à l'énergie produite s'améliorera donc.

Une solution séduisante a été avancée, à laquelle beaucoup d'entre nous se sont laissé prendre : utilisons de l'énergie *importée* en lieu et place de l'énergie indigène, stockée. Cette énergie "au fil des jours" est de deux sortes : l'énergie gravitationnelle, moteur des marées, et l'énergie rayonnante reçue du Soleil. Cette dernière est tellement plus importante que l'énergie marémotrice, que c'est sur elle que nous appuierons notre démonstration. Nous avons vu qu'actuellement l'énergie solaire reçue par la Terre représente dix-mille fois l'énergie que les terriens consomment, mais que cette proportion risque de tomber à quatre cent fois d'ici 2050. Il n'est pas envisageable aujourd'hui que toute cette énergie soit puisée au Soleil ; pourtant, voyons quelles pourraient être les répercussions de son utilisation intensive.

Toutes les autres formes d'atteinte à l'environnement, due en particulier aux larges emprises sur les terrains, nécessaires pour capter une puissance suffisante, ne seront pas traitées ici, pour nous concentrer sur les seuls problèmes thermiques. Nous supposons également que les problèmes techniques posés par la conversion de puissance sont résolus. Nous suivrons le raisonnement de Meinel [3] : supposons une centrale solaire installée dans un désert ; par choix du site (et par définition) le ciel est constamment dégagé ; l'albédo local à considérer est celui du sol, soit 0,4. 60 % de l'énergie reçue sont dispersés dans l'environnement. La présence de capteurs solaires abaisse cet albédo à 0,2 ; les 80 % d'énergie restante sont envoyés à la centrale de conversion *obligatoirement voisine*. Le rendement de cette centrale thermique est de 25 %. Le quart, soit 20 % de l'énergie reçue du soleil, est expédié au loin pour y être utilisé. Le reste, soit 60 % de l'énergie reçue du soleil, est restitué à l'environnement local, qui retrouve ainsi son équilibre thermique primitif. En somme l'énergie utile est *prélevée sur l'albédo*. Celui-ci est donc localement modifié.

Les besoins de l'Homme visant à accroître son confort, en dépassant les conditions naturelles de chauffage ou d'éclairage, en élargissant et accélérant ses déplacements, en modifiant la nature des matériaux et du milieu, reviennent à exiger l'accroissement du rayonnement solaire arrivant au sol, si le Soleil doit y satisfaire. Cet accroissement doit fournir la même énergie SW_i que nous demandions précédemment aux stocks. L'élévation de température du globe doit donc être identique à celle que nous avons déterminée plus haut. L'utilisation de l'énergie solaire n'est pas un palliatif à la pollution thermique.

A une nuance près, pourtant, et d'importance. Ce raisonnement ne s'applique qu'aux sources de *chaleur* : charbon, pétrole, gaz, uranium, chaleur interne aussi bien que solaire. Mais seule la nature du rayonnement de cette dernière source permet des conversions directes sans passer par la voie thermique : du courant électrique grâce aux photopiles par exemple, des réactions photochimiques entre autre exemple. Or, la totalité du

rayonnement solaire n'est pas utilisée pour ces transformations, mais seulement des domaines étroits. On comprend donc tout l'intérêt des recherches actuelles pour doter les capteurs de *surfaces sélectives*. Une partie de l'énergie incidente pourra être ainsi rejetée pour ne laisser passer que les parties utiles du spectre.

L'albédo s'en trouvera d'autant moins modifié et l'équilibre des climats mieux respecté.

Cette attitude est plaisamment résumée par cette boutade du Professeur Pierre Auger : "En somme, si je vous ai bien compris, il faudrait mettre auprès de chaque arbre qu'on plante... un miroir" !

BIBLIOGRAPHIE

- [1] RASCHKE E., VONDER HAAR T.H. et al. - *J. Atmos. Sc.* 3, 30, 1973, pp. 341-363.
- [2] FRANCIA G. - *Rev. intern. héliotech. Comptes*, 2^e semestre 1974.
- [3] MEINEL A.B. et al. - *Actes Congrès Inter. En. Sol.* Paris 1973, E 13, p. 5.
- [4] MATTHEWS W.K., KELLOGG W.W. ROBINSON G.D. - *Ed. MIT* 1971.
(Man's impact on the global environment) et (Inadvertent climat modification, report of MIT) 1971-1973.
- [5] TOUCHAIS M. - *Bull. Comptes*, juin 1972.
- [6] OTTERMAN J. - (Climatic change by cloudiness...) *Goddard space flight cent. Greenbelt, Maryld.* avril 1975.
- [7] LLIBOUTRY L. - *Traité de glaciologie* (2 T.) Masson éd. 1965
- [8] VONDER HAAR T.H. - *Proceed. of symposium on solar rad.* Rockville, Maryld. nov. 1973 pp. 443-463.

