

# Cesser d'aggraver le désastre climatique mondial

par Christophe Dalle \*

Même si les émissions de gaz à effet de serre par l'homme cessaient entièrement demain matin, les températures terrestres continueraient à augmenter pendant plusieurs siècles (1), du fait de la présence dans l'atmosphère des quantités considérables de ces gaz que les activités humaines y ont relâchées depuis le début de l'ère industrielle (2).

Le forçage additionnel (réchauffement résultant des activités humaines) est induit à 65 % par le dioxyde de carbone, lui-même sous-produit de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz). La disparition de la totalité du CO<sub>2</sub> excédentaire, aujourd'hui présent dans l'atmosphère, prendrait un ou deux siècles ; jusqu'à ce terme, il est illusoire d'espérer une stabilisation, et encore moins un début de décroissance des températures terrestres. Les gaz à effet de serre continuent, en effet, à faire du forçage radiatif tant qu'ils sont présents. Le carbone, une fois relâché dans la biosphère, ne peut en être retiré que par sédimentation d'organismes morts au fond des océans (3), par absorption dans les premiers mètres du sol (où l'on en trouve 1.500 milliards de tonnes), et par dissolution dans l'océan (qui en recèle 40.000 milliards de tonnes). C'est également vers 2050 que pourrait être atteint le seuil au-delà duquel le sol et les océans, ayant atteint leurs limites de capacité d'absorption du carbone, commenceraient au contraire à en restituer.

Presque tous les modèles indiquent que l'élévation des températures terrestres doit s'accompagner d'une violence et (sans doute) d'une fréquence sans cesse accrues des phénomènes météorologiques extrêmes (tempêtes, déluges, sécheresses), ainsi que d'un progressif dérèglement climatique planétaire. Elle a de très nombreuses autres conséquences inacceptables : c'est ainsi que 75 % des coraux de l'Océan Indien sont morts depuis deux ans, par suite du réchauffement de l'eau de mer (4). Le dommage déjà certain constitue, chacun s'en aperçoit, un désastre d'une inconcevable gravité. Mais il n'est rien comparé à ce qui nous attend si les émissions humaines de gaz à effet de serre ne prennent pas fin. Les perturbations climatiques sont d'autant plus prononcées que la température s'élève davantage. Et l'ampleur et la durée futures de la hausse des températures seront fonction des quantités de gaz à effet de serre que nous continuerons à émettre.

\* Avocat  
au Barreau de Paris  
(avec la coopération de  
J.-M. Jancovici  
et André Gérard, directeur  
du projet géothermique  
européen)

(1) Un article  
de **Jean Marc Jancovici**,  
« Le réchauffement  
climatique », publié par la  
revue des anciens élèves de  
l'École Polytechnique (*La  
jaune et la rouge*, mai 2000)  
fait le point sur la situation  
climatique mondiale.  
Voir aussi **H. Le Treut** et  
**J.-M. Jancovici**, *L'effet de  
serre*, Dominos, Flammarion,  
octobre 2001.

(2) En 1750, environ  
570 milliards de tonnes  
de carbone étaient  
« naturellement » présentes  
dans l'atmosphère ; depuis,  
les activités humaines y ont  
relâché quelque 330 milliards  
de tonnes, chiffre qui  
augmentera, cette année, de  
près de 8 milliards de tonnes.  
Voir **Hervé Le Treut** et  
**Robert Kandel**, Laboratoire  
de Météorologie Dynamique,  
in *Le Monde*, 18 nov. 2000.

(3) Ce mécanisme fonctionne  
moins bien lorsque les océans  
se réchauffent.

(4) Voir **Olof Linden**, « Coral  
reef degradation in the indian  
ocean », in *The Economist*,  
28 oct. 2000.

## Stopper les émissions de gaz à effet de serre

Que déduire de ces constatations ? On ne voit pas quelle autre réponse apporter que la suivante : l'humanité doit éliminer, le plus vite possible, ses émissions de ces gaz. Cela est-il à notre portée ? S'agissant des sources de forçage additionnel autres que les carburants fossiles, la réponse est positive, au prix de modifications de diverses pratiques agricoles et industrielles. Il est, par ailleurs, nécessaire et possible de supprimer, en trente ans, la consommation des énergies fossiles. Il y a trois sources d'énergie disponibles pour remplacer ces dernières : le nucléaire, le solaire sous toutes ses formes, et la géothermie profonde.

(5) Les États-Unis ont relâché dans l'environnement, depuis les débuts de l'industrie nucléaire, 3 millions de curies. La Russie en a relâché 1,7 milliard - et continue sur une grande échelle. Voir Donald Bradley, du Pacific Northwest National Laboratory, in *The Economist*, 26 février 2000.

(6) Pour fixer les idées : en l'an 2000, chaque Américain a consommé 8 Tep d'énergie ; si chacun des 6.200 millions de terriens en faisait autant, la consommation énergétique mondiale s'élèverait à 50 milliards de Tep.

(7) En zone tropicale, la culture de plantes destinées, soit à l'obtention de carburants, soit à être brûlées, permet d'obtenir l'équivalent de 20 Tep par hectare et par an. Le rendement de conversion en chaleur est de 4 % dans un foyer ouvert, de 75 % dans une chaudière à tirage forcé et à combustion inversée.

(8) Des auteurs envisagent, dans les régions sub-polaires venteuses et désertes, des fermes éoliennes géantes avec production locale d'hydrogène.

(9) Archives personnelles de Jean-Marc Jancovici. Il existe des piles ayant l'aspect d'ardoises, ce qui supprime la nuisance esthétique.

Le nucléaire n'émet aucun carbone ; mais il pose le problème, non résolu, de la gestion des déchets (5). En outre, il y a eu Tchernobyl : le quart de la superficie de la Biélorussie, avec deux millions d'habitants, lourdement irradié pour au moins cent ans, ainsi que d'autres conséquences graves en Europe et dans le monde. L'Agence internationale de sécurité atomique ne parvient pas à obtenir l'arrêt, qu'elle réclame depuis des années, de plusieurs réacteurs à très haut risque, en Russie et ailleurs. Les accidents de Three Mile Island (USA, 1979, fusion partielle du cœur) et Tokaïmura (Japon, 1999, réaction en chaîne incontrôlée), outre une foule d'accidents moins graves, ont démontré que l'expertise technologique et l'ampleur des moyens financiers ne mettent pas à l'abri de la catastrophe. Il y a enfin le risque, élevé, de terrorisme nucléaire. Compte tenu de l'urgence, cependant, les adversaires du suicide climatique planétaire devraient s'abstenir de prendre l'industrie nucléaire à partie. Le moment venu, le problème se résoudra de lui-même.

Que permet, sous ses multiples formes, l'énergie issue de l'activité du soleil ? L'hydroélectricité a un bel avenir : à l'heure actuelle, seulement 15 % du potentiel technique mondial est utilisé (90 % en France ou en Suisse). La biomasse, qui ne relâche dans l'atmosphère que du carbone préalablement fixé par la plante que l'on brûle, permet d'obtenir de l'énergie à un coût faible en termes d'effet de serre. Le flux terrestre de production de la biomasse (accroissement de la végétation) est de l'ordre de 70 milliards de tonnes d'équivalent pétrole (« Tep ») par an (6). Les prélèvements humains (alimentation, bois de feu, construction) représentent moins de 4 % de ce total et les rendements pourraient être fortement augmentés (7). Les éoliennes peuvent fournir une contribution importante (8). Le rayonnement solaire peut être exploité directement, puisque 46 % de l'énergie reçue du soleil par la terre sont absorbés par l'environnement et transformés en chaleur. Un prélèvement de quelques millièmes sur ces 46 % (qui représentent plus de 60.000 milliards de Tep/an, soit près de 6.000 fois la consommation mondiale d'énergie primaire) n'aurait aucune incidence sur les températures terrestres. On peut utiliser, soit le simple capteur solaire, soit la pile photovoltaïque qui a un rendement très supérieur. Si la moitié des toits de France étaient photovoltaïques, on obtiendrait une puissance installée égale à celle de toutes les centrales EDF existantes (9). En termes de coût, toutefois, le solaire

ne semble pas pouvoir concurrencer l'exploitation de la chaleur interne du globe (10).

En matière de géothermie profonde, les réserves d'énergie en place sont suffisantes pour satisfaire l'ensemble des besoins en énergie de la planète pendant les cinq milliards d'années qu'il reste à vivre au soleil (11). Un seul chiffre : sous tous les continents, la température à 40 km de profondeur atteint 1.000° C. Les seuls 30.000 km<sup>2</sup> les plus favorables en France recèlent des réserves d'énergie supérieures à 35 milliards de Tep thermiques, en limitant le prélèvement thermique à 20° C sur une épaisseur exploitée de 1.000 m. Si cette épaisseur est quadruplée, les réserves le sont aussi (12). Si les prélèvements ont lieu vers 6.000 mètres de profondeur, là où la température de la roche est de 200 à 250° C, le taux de conversion thermique / électrique pourrait se situer vers 15 à 20 %. Ces chiffres sont à rapprocher de la consommation française d'énergie primaire (258 millions de Tep en l'an 2000). Le gisement ne s'épuise pas : il se remplit à mesure qu'on le vide (13).

La seule technique étudiée expérimentalement à ce jour est celle mise en oeuvre dans le cadre d'un projet européen à Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin). On injecte de l'eau par un premier puits dans une roche brûlante et fracturée naturellement, à 5.000 mètres de profondeur. On récupère l'eau réchauffée à 200° C en sortie d'un second puits foré non loin de là, eau qui cède sa chaleur à un autre fluide avant d'être réinjectée dans le premier puits. La vapeur produite fait tourner des turbines.

La géothermie profonde ne présente aucun danger et n'engendre aucune pollution. Si l'exploitation n'est pas conforme aux règles de l'art, la production décroît puis s'arrête. Ce n'est pas le cas du nucléaire. En vertu du principe d'équivalence de la masse et de l'énergie, le prélèvement de chaleur dans l'écorce terrestre réduirait la masse de notre planète - comme l'ont toujours fait les éruptions volcaniques. Cette réduction ne serait jamais significative. De plus, dans la plupart des régions du monde, il existe un grand nombre de sites favorables, avec un gradient thermique élevé. L'Islande tirera en 2040 la totalité de son énergie de la géothermie profonde et de l'hydroélectricité (14).

La conjugaison de ces différents systèmes permet d'envisager, à terme de trente ans, l'élimination du forçage additionnel anthropique. Dans les pays industrialisés, les véhicules seraient équipés d'une pile à combustible dans sa version fonctionnant à l'hydrogène seul, obtenu par électrolyse de l'eau, et ne produisant pas d'autres effluents que de l'eau. Ailleurs, les véhicules brûleraient du méthanol. Partout, l'industrie et le logement tireraient toute leur énergie de l'électricité, du soleil et du bois. Selon les meilleurs experts (15), si l'environnement réglementaire nécessaire est mis en place, le moteur conventionnel peut avoir disparu des États Unis, de l'Europe et du Japon en 2030. Un bénéfice additionnel serait la disparition de la pollution urbaine dans l'ensemble du monde développé.

---

(10) Sauf là où il y a un fort ensoleillement et un mauvais gradient géothermique. Mais le solaire paraît hors course lorsqu'il s'agit de produire des flux massifs d'énergie.

---

(11) A condition de ne pas extrapoler les tendances extravagantes du passé : la consommation française d'énergie a triplé entre 1960 et 2000.

---

(12) Paul-Henri Bourrelier, Ingénieur Général des Mines : « Une ressource nouvelle : la chaleur des roches fracturées profondes », ADEME, avril 1999.

---

(13) On prélève sur un km<sup>3</sup>, pendant 20 ans, une fraction du stock initial de chaleur que contenait ce cube ; on passe ensuite à un autre cube et on reprend l'exploitation sur le premier cube lorsque le stock initial de chaleur de ce dernier est reconstitué à l'identique, ce qui prend de 50 à 150 ans selon les conditions locales.

---

(14) Voir **Bragi Arnason**, Université d'Islande à Reykjavik, in *Le Monde*, 24 mars 2000.

---

(15) **Robert Williams, Joan Ogden et Eric Larson**, tous trois de l'université Princeton, in *The Economist*, 24 mars 2001.

---

## Le coût des énergies de remplacement

Quel serait le coût des énergies alternatives ? La réponse est complexe, car le coût de l'énergie est fonction inverse du rendement, à toutes les étapes. Le rendement dépend lui-même de facteurs à la fois techniques, économiques et réglementaires. Quelques éléments de réponse, toutefois. L'hydroélectricité est concurrentielle, l'énergie solaire sous ses autres formes l'est ou le devient également (16). Le Brésil a obtenu du méthanol à un coût comparable à celui du carburant dérivé du pétrole « cher ».

L'une des rares estimations existantes évalue le prix du KWh géothermique entre 0,40 F et 1,20 F, contre 0,20 F à 0,30 F pour le KWh nucléaire ou gaz (17). Mais les auteurs de ces estimations soulignent que leurs chiffres valent ce qu'aurait valu une estimation du coût de l'électricité nucléaire faite en 1940. La plupart soulignent aussi que l'effort d'investissement à consentir, bien qu'immense, a toutes chances de n'être qu'une fraction de ce qu'a déjà coûté le nucléaire civil.

Ici comme ailleurs, lorsqu'un marché existe, d'une part ce qui semblait impossible devient réalisable, d'autre part le coût finit toujours par s'abaisser jusqu'à permettre l'obtention d'un profit. On l'a vu avec l'électricité nucléaire. En 1940, obtenir de l'électricité d'origine nucléaire n'était même pas concevable. Aujourd'hui, l'électricité nucléaire concurrence l'électricité produite par les turbines à gaz. Que des artifices d'ordre comptable, tendant à requalifier comme « militaires » des dépenses de recherche qui étaient en réalité civiles, aient pu contribuer à ce résultat, ne change rien à l'affaire. On a vu plus récemment que l'impossible devient possible avec le remarquable décret californien de 1990 sur la pollution automobile, modèle à la fois d'intransigeance utopique et de flexibilité pragmatique (18). Prudents, les principaux constructeurs mondiaux ont fortement intensifié leurs recherches sur la pile à combustible. En 1991, il paraissait certain que cette technologie ne concurrencerait jamais le moteur conventionnel. L'écart immense entre les prix de revient s'est progressivement résorbé, et aura bientôt disparu.

## Les modalités de mise en œuvre

Comment faire ? Il faut partir de ce qui est. L'existant, c'est le protocole de Kyoto, qui engage la plupart des pays industrialisés signataires à réduire en moyenne de 5 %, en 2010, leurs émissions de gaz à effet de serre par rapport à leur niveau de 1990. Ce protocole n'est pas entré en vigueur, et les États Unis (responsables à eux seuls du cinquième des émissions mondiales de carbone) ont annoncé qu'ils ne le ratifieraient pas. Plus grave, il faut savoir que tout le processus de Kyoto a été lentement dévoyé dans le sens de l'insignifiance, comme l'a de nouveau démontré la conférence de Bonn en 2001 (19). L'objectif lui-même – une réduction de 5 % – est à l'évidence dépourvu de sens. L'humanité doit, non pas réduire sa consommation de combustibles fossiles, mais la supprimer.

(16) C'est pour des raisons purement politiques que le capteur solaire ne satisfait pas déjà la moitié des besoins mondiaux de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

(17) Archives personnelles de Paul-Henri Bourrellet. En Alsace, le KWh thermique serait issu de la géothermie serait déjà, s'il y avait mise en exploitation, moins cher que le KWh thermique fossile.

(18) *Low Emission Vehicle Regulation*, 29 septembre 1990, amendé à deux reprises, la seconde le 25 janvier 2001. Ce décret prévoyait qu'à compter du 1er janvier 1998, aucun constructeur ne pourrait vendre une seule voiture en Californie, à moins qu'au moins 2 % des véhicules qu'il vendrait en Californie ne fussent « émission zéro ».

(19) L'accord de Bonn prévoit que, si un pays émet plus que son quota, l'excédent, augmenté de 30 %, est déduit de son quota pour la période suivante. L'absence de pénalités financières ruine la crédibilité du système.

Comment y parvenir ? L'expérience a montré que la voie choisie, celle du traité mondial, n'est pas la bonne et doit être abandonnée. L'Europe doit prendre l'initiative et établir, puis mettre en oeuvre un calendrier d'élimination de l'énergie fossile sur trente ans. La réglementation européenne commune serait appelée à devenir ensuite progressivement applicable à toute la planète, à mesure que chaque pays ratifierait le traité fondateur. Le système serait géré par une autorité internationale forte et doté des moyens de contrainte nécessaires. Le protocole de Kyoto, on s'en doute, ne prévoit rien de tel.

Les résistances seraient bien sûr extrêmement fortes, même dans les pays aujourd'hui importateurs d'hydrocarbures. Le succès supposerait l'adhésion de ceux qui font l'opinion américaine, ce qui implique un maintien des liens avec le gouvernement et le peuple des États-Unis. Il devrait ensuite être possible de faire savoir à chaque pays qu'il a le choix entre adhérer au club, ou supporter les conséquences de son refus. En vue d'accélérer leur reconversion à l'énergie propre, une aide économique très importante serait fournie aux pays les plus pauvres, dans le cadre d'un nouveau plan Marshall mondial, ainsi qu'aux pays gros consommateurs de combustibles fossiles extraits localement.

Pour que se fasse une telle révolution, deux séries d'obstacles sont à surmonter. La première tient à des facteurs psychologiques : la crainte - le dérèglement climatique fait peur -, le suivisme - la toute-puissante industrie des hydrocarbures n'est pas contrée par des industries du solaire et de la géothermie profonde qui crient vers l'existence -, et l'indifférence. La seconde résulte du fait que les gouvernants ne peuvent ignorer les pressantes sollicitations en faveur du statu quo. C'est principalement à ces interventions que le processus de Kyoto doit d'être devenu progressivement un exercice purement académique. Et, face à tant de lobbies, il n'est personne pour défendre le bien commun.

Les choses ne changeront que lorsqu'une fraction significative de l'électorat se sera mobilisée en faveur de l'énergie propre d'une façon très visible, durable et sans cesse plus affirmée. L'arithmétique électorale contraindra alors le dirigeant politique à prendre la tête du mouvement. On mesure la difficulté de l'entreprise ; la conversion des esprits qu'il faut opérer constitue une tâche d'une ampleur immense, haute et massive comme l'Everest. Mais nous n'avons pas le choix : le problème du réchauffement terrestre doit être résolu. Si nous n'y parvenons pas, le désastre climatique qui est déjà certain, mais auquel il semble que nous puissions encore porter remède, prendra des proportions entièrement incontrôlables.

**Christophe Dalle**