

Modifions-nous le climat ?

THOMAS KARL • KEVIN TRENBERTH

On ne le saura vers 2050 que si tous les pays s'engagent dès aujourd'hui dans une surveillance météorologique régulière et rigoureuse.

« L'ensemble des observations indique que l'espèce humaine a une influence perceptible sur le climat du Globe. » Par ces mots choisis, le Groupe intergouvernemental sur les changements climatiques, en liaison avec l'Association météorologique mondiale et le Groupe environnement de l'Organisation des Nations unies, a admis, en 1995, que l'espèce humaine a sa part de responsabilité dans la santé de la planète. Ce groupe n'a pas dit quand l'influence humaine sur le climat se fera sentir, ni où et comment ; ce sont là des questions dont les scientifiques et les hommes politiques débattent âprement.

Jusqu'ici, les changements climatiques qui semblent dus aux activités humaines ont été relativement limités, mais divers calculs indiquent que des effets importants risquent de se faire sentir à partir du milieu du XXI^e siècle ; ils seraient même supérieurs à ceux que le Globe a connus depuis la dernière glaciation, il y a environ 10 000 ans. Certaines régions profiteront peut-être, temporairement, des changements, mais on craint généralement des perturbations nuisibles, voire très graves. Évidemment, si les météorologues préoyaient mieux l'influence des diverses activités sur le climat, on pourrait prendre des mesures pour limiter les perturbations ou pallier leurs effets. L'évaluation des changements climatiques est-elle possible ? Nous le pensons. Mieux encore, une telle évaluation pourrait s'achever aux alentours des années 2050 si elle devenait une priorité internationale.

Bien qu'on ne sache pas évaluer avec précision l'impact des activités humaines sur le climat, on sait que

ces activités perturbent l'atmosphère. Par exemple, l'utilisation des combustibles fossiles dans les centrales thermiques et dans l'ensemble des moyens de transport rejette des particules et des gaz qui modifient la composition chimique de l'atmosphère. La combustion des produits riches en soufre engendre une pollution visible, sous la forme de petites particules qui donnent souvent au ciel un aspect laiteux. Ces particules, dont le diamètre est voisin de un micromètre (un millième de millimètre), refroidissent temporairement l'atmosphère, parce qu'elles réfléchissent vers l'espace certains rayonnements qui composent la lumière solaire ; toutefois elles ne restent pas dans l'atmosphère, parce que les précipitations les ramènent vers la surface de la Terre. Certains gaz, invisibles, ont des conséquences plus durables. Le dioxyde de carbone reste dans l'atmosphère pendant plus d'un siècle, par exemple. Or ce composé et d'autres « gaz à effet de serre » laissent arriver jusqu'au sol beaucoup de rayonnements solaires, mais ils retiennent les rayonnements infrarouges, de sorte qu'ils contribuent au réchauffement de la basse atmosphère.

Personne ne conteste que les émissions de combustibles fossiles, à elles seules, ont augmenté de presque 30 pour cent la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère, depuis le début de la Révolution industrielle. Les océans et les végétaux absorbent une partie du dioxyde de carbone ainsi rejeté, mais les concentrations en dioxyde de carbone continuent d'augmenter. L'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère réchauffe inévitablement l'atmosphère : la plu-

part des météorologues admettent que la température moyenne de la Terre a augmenté d'au moins 0,6 °C au cours des 120 dernières années ; cette augmentation résulte en grande partie de l'utilisation des combustibles fossiles.

Le réchauffement global dû à l'effet de serre évapore de l'eau des océans, des sols et des plantes. Or, toutes les précipitations puisent dans l'énorme réservoir d'eau qui se constitue dans l'atmosphère : tornades tropicales, pluies d'orage, tempêtes de neige... L'intensification du cycle hydrologique mondial aggrave les sécheresses et intensifie les chutes de pluie ou de neige dans les régions humides, ce qui accroît le risque d'inondations. Dans les dernières décennies, de nombreux endroits du monde ont déjà été touchés.

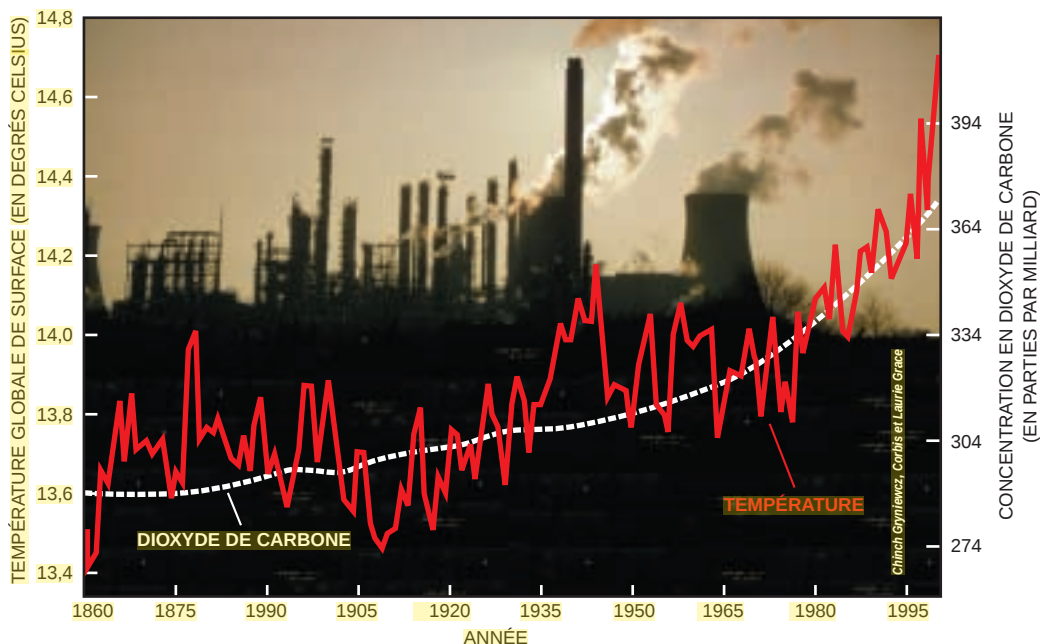
Des problèmes de puissance

D'autres activités humaines que la combustion des combustibles fossiles perturbent le climat global. Par exemple, le défrichage des forêts et leur transformation en pâturages éliminent des arbres qui absorberaient le carbone de l'atmosphère et réduiraient l'effet de serre ; de surcroît, les sols sont plus lessivés par les eaux qui ruissellent, ce qui augmente les risques d'inondation.

La connaissance des phénomènes qui modifient le climat global est utile, mais insuffisante. Les pays ont également besoin de savoir comment les diverses activités humaines perturbent

1. CE PIÉTON est pris dans une tempête comme il risque de s'en produire de plus en plus souvent si le climat du Globe se réchauffe.





2. L'UTILISATION DES COMBUSTIBLES FOSSILES (photographie) a augmenté la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone (pointillés blancs) et a augmenté les températures du Globe depuis 140 ans (courbe rouge).

localement le climat et quelles sont les conséquences de ces activités sur le climat mondial. Pour obtenir ces informations, les climatologues devront construire des modèles climatiques plus précis que ceux qui ont été réalisés jusqu'ici. À cette fin, ils auront besoin d'ordinateurs un million de fois plus rapides que les plus rapides d'aujourd'hui et ils devront identifier les innombrables interactions des océans, de l'atmosphère et de la biosphère, afin de savoir exactement quelles variables ils devront utiliser dans leurs simulations informatiques. Ils devront démontrer que leurs programmes reproduisent bien les changements climatiques du passé et du présent, avant de se fier à eux pour prévoir l'avenir. Cette validation nécessite des mesures effectuées pendant de nombreuses années. Les simulations et les prévisions du climat n'atteindront leur maturité que si l'on enregistre régulièrement les changements, au moment où ils se produisent.

Pour les climatologues qui élaboreront des modèles climatiques, tous les phénomènes, des fluctuations des périodes glaciaires jusqu'à la désertification actuelle de l'Afrique centrale, jouent un rôle dans les simulations. Les interactions des composants climatiques – l'atmosphère, les océans, la surface des continents, la banquise, les eaux de surface, la biosphère... – évoluent selon des lois physiques décrites par des équations. Les concepteurs des programmes de simulation climatique

utilisent les ordinateurs pour appliquer ces équations à des blocs de volume terrestre, l'ensemble de ces blocs couvrant toute la surface du Globe. Comme l'atmosphère est un ensemble continu, et non un assemblage de blocs indépendants, les climatologues doivent non seulement décrire l'évolution de chaque élément de volume, mais aussi calculer les interactions de ces éléments, en simulant les transferts d'énergie et de masse entre eux.

Dans les principaux centres mondiaux de simulation du climat, les ordinateurs effectuent jusqu'à 50 milliards d'opérations par seconde, mais les variables à prendre en compte pour simuler l'évolution de l'atmosphère sont si nombreuses que la simulation d'un siècle de temps réel peut prendre des mois. Aussi considère-t-on des éléments de volume assez gros pour que leur nombre reste limité. Pour les modèles avec lesquels on prévoit l'évolution du temps, ces éléments correspondent à des volumes d'atmosphère d'environ 250 kilomètres de côté, dans le plan horizontal, et de un kilomètre d'épaisseur.

Même le plus complexe des modèles de climat global ne reproduit pas la formation des nuages ou la chute de pluie : les violents orages d'été, avec leurs pluies parfois torrentielles, n'arrosent souvent que des surfaces de moins de dix kilomètres de côté, et la condensation des gouttes

de pluie s'effectue à des échelles inférieures au millimètre. Comme chacun de ces événements se produit dans une région plus petite que le volume de la plus petite unité du maillage utilisé pour la simulation, les modèles doivent se fonder sur une description statistique de nombreux phénomènes.

Les phénomènes météorologiques sont aléatoires aux petites échelles, mais leur fréquence diffère selon les régions du Globe. En revanche, les phénomènes qui perturbent le climat, telle l'accumulation dans l'atmosphère des gaz à effet de serre, touchent toutes les zones de la planète au même degré. Aussi les variations météorologiques

locales masqueront d'autant plus un signal climatique à grande échelle que les régions prises en compte seront petites. Pour supprimer ce masquage, les météorologues conduisent plusieurs simulations simultanées, avec, pour chacune, des conditions initiales légèrement différentes. Les particularités climatiques qui se trouvent dans toutes les simulations constituent le signal climatique, tandis que celles qui ne sont pas reproductibles sont considérées comme des bruits de nature météorologique.

Les interactions climatiques

Les informaticiens estiment que la vitesse des ordinateurs augmentera de bien plus d'un million de fois d'ici 2050. Avec leurs ordinateurs perfectionnés, les climatologues simuleront alors plusieurs siècles par jour, avec une résolution de moins de un kilomètre dans le plan horizontal et une résolution verticale de 100 mètres, en moyenne.

Les ordinateurs n'indiqueront les changements climatiques que si les équations mathématiques qu'on leur aura fournies décrivent correctement les phénomènes naturels. Par exemple, si un modèle d'atmosphère considère des températures inférieures de 4 °C aux températures réelles (ce qui n'était pas rare il y a dix ans), la simulation indiquera que l'atmosphère contient environ 20 pour cent de moins d'eau que sa capacité réelle ; l'erreur enlève