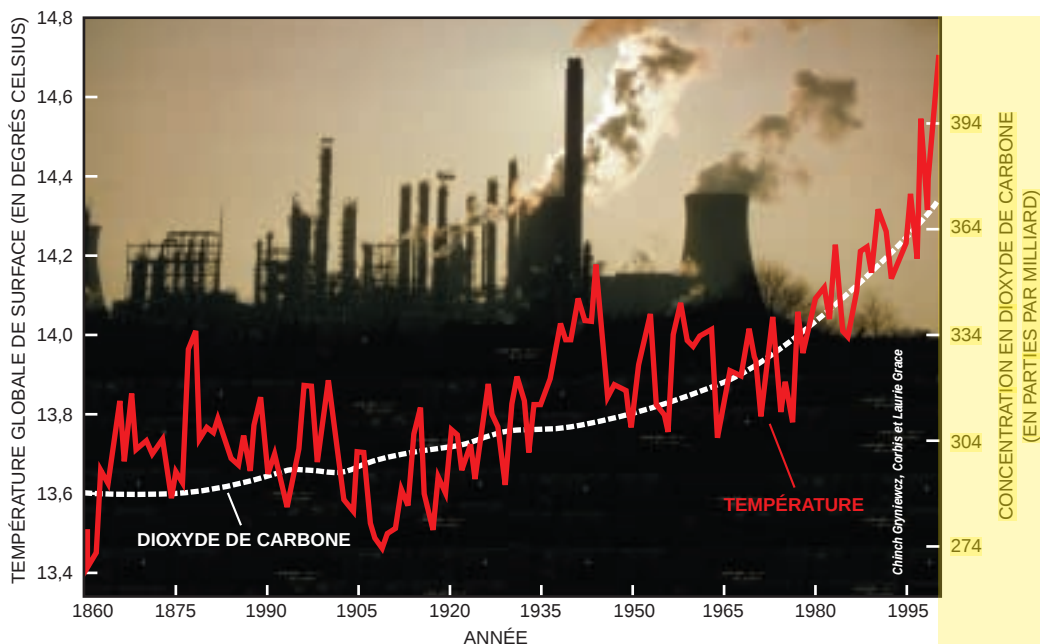




2. L'UTILISATION DES COMBUSTIBLES FOSSILES (photographie) a augmenté la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone (pointillés blancs) et a augmenté les températures du Globe depuis 140 ans (courbe rouge).

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

tout sens à des estimations ultérieures sur l'évaporation et les précipitations.

D'autre part, nous ne savons pas encore bien reproduire les divers phénomènes qui déterminent le climat, telles les brusques variations du cycle du carbone ou les changements d'utilisation des sols. Or ces changements provoquent des rétroactions qui, si on n'en tient pas compte, conduisent à des résultats aberrants. Ainsi une augmentation de la température modifie l'hygrométrie de l'atmosphère, ce qui amplifie la perturbation d'origine, parce que la vapeur d'eau est un puissant gaz à effet de serre.

Les climatologues commencent seulement à comprendre à quel point certaines de ces rétroactions influencent le cycle du carbone sur la planète. Par exemple, en 1991, l'éruption du mont Pinatubo, dans les Philippines, rejeta dans l'atmosphère suffisamment de cendres et de dioxyde de soufre pour refroidir temporairement le climat mondial : les composés libérés ont interagi avec les gouttelettes d'eau contenues dans l'air, empêchant certains

rayonnements solaires d'atteindre la Terre. De ce fait, l'assimilation rapide du dioxyde de carbone par les plantes a été réduite.

Les diverses utilisations du milieu naturel perturbent différemment les climats continentaux et régionaux, et l'on décrit difficilement ces perturbations dans les simulations. La déforestation, par exemple, fait apparaître des zones (cultivées) qui sont plus claires que les forêts et qui, de ce fait, réfléchissent plus d'énergie solaire, ce qui conduit à un refroidissement du climat, surtout en automne et en été. Dans les régions qui étaient initialement très boisées, ce refroidissement peut réduire l'évaporation et, par là même, la nébulosité et les précipitations.

Mesures manquantes

Les simulations climatiques ne valent rien si l'on ne les confronte pas aux observations, afin de montrer que les modèles reflètent vraiment la réalité. Autrement dit, pour mieux connaître

l'influence des activités humaines sur le climat du Globe, on doit savoir comment le climat a changé dans le passé. Au minimum, on doit simuler convenablement l'évolution du climat depuis que l'homme a modifié la composition de l'atmosphère.

Pour comprendre le climat aux époques antérieures aux observations par les satellites météorologiques, on analyse l'air piégé dans les carottes de glace, les cernes de croissance des arbres, le corail, et les sédiments au fond des océans et des lacs.

Cependant, pour bien comprendre le climat actuel, les climatologues ont besoin de plus que ces instantanés ; ils doivent également utiliser de longs enregistrements qui révèlent l'évolution actuelle du climat. Les mesures actuelles de la banquise, de l'humidité du sol, du couvert végétal, et des mesures tridimensionnelles de la salinité et de la température des océans sont nécessaires, mais non suffisantes.

Or l'organisation actuelle du monde ne favorise pas l'étude des climats :



Neil Rabinowitz, Corbis

3. LA DÉFORESTATION perturbe le climat de plusieurs façons. D'une part, l'abattage des arbres réduit l'absorption du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère. Les forêts, plus sombres que les

zones dénudées, absorbent davantage le rayonnement solaire, maintenant les zones boisées plus chaudes et plus humides que les zones cultivées ou en friche.

L'UNIVERS DES SCIENCES

L'UNIVERS DES SCIENCES

LES ÉTOILES

Vie et mort des soleils lointains

JAMES KALER



POUR LA
SCIENCE

LES ÉTOILES

Ce livre expose l'origine et la nature de nos connaissances sur les étoiles, avant de les décrire dans leur dynamique et leur devenir. Les objets célestes les plus insolites, géantes rouges, supernovae, pulsars et trous noirs, s'insèrent alors naturellement dans le récit de l'évolution stellaire.

272 pages - 220 F

c o d e

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

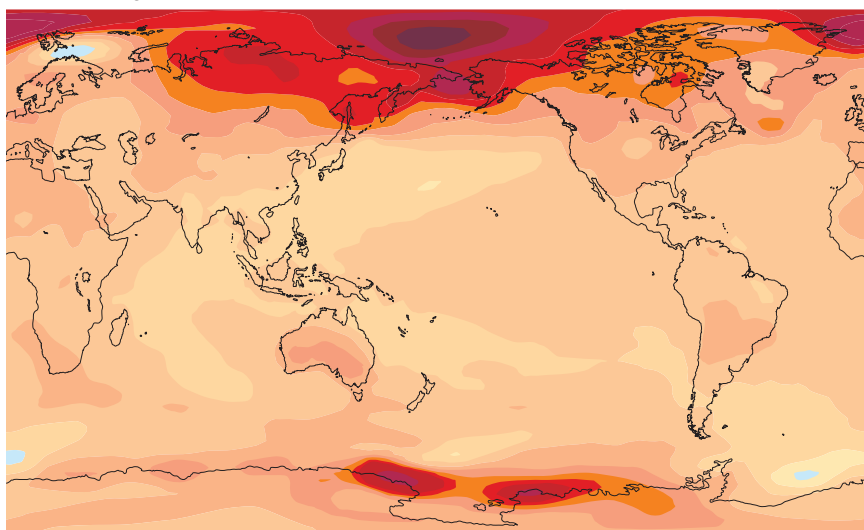
Bon de commande en p.98

aucune institution n'a le mandat ou les ressources pour assurer le contrôle du climat à long terme. Aujourd'hui les climatologues effectuent leurs interprétations du changement climatique à l'aide des mesures recueillies par un grand réseau de satellites et de détecteurs de surface qui sont équipés pour l'observation météorologique : bouées, navires océanographiques, observa-

toires, stations météorologiques, avions. Les climats du passé sont souvent très mal connus.

Les quantités que nous mesurons aujourd'hui représentent-elles de réels changements de l'environnement, à l'échelle de quelques décennies? On ne pourra le dire que si l'on dispose d'observations continues. Que se passe-t-il quand on change les caméras

TEMPÉRATURE

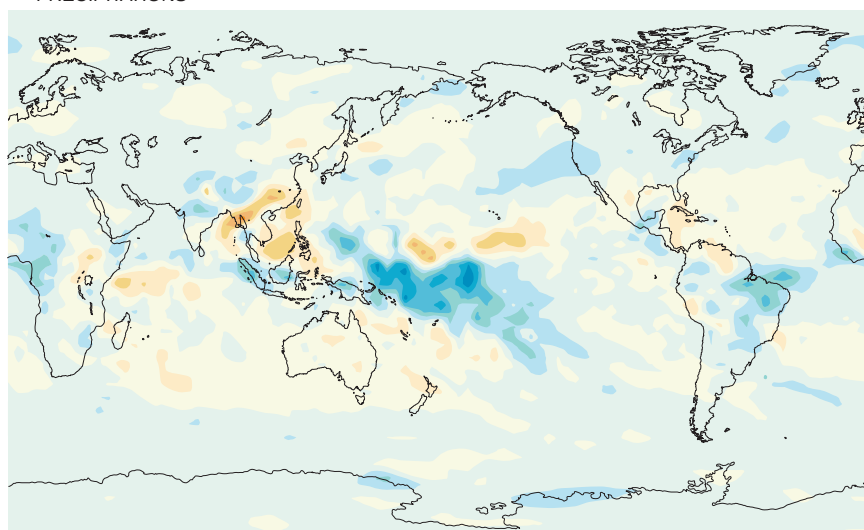


PLUS FROID ← → PLUS CHAUD

0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 3,5 4 4,5 5

DEGRÉS CELSIUS

PRÉCIPITATIONS



PLUS SEC ← → PLUS HUMIDE

-1,5 -1,2 -0,6 -0,3 0 0,3 0,6 0,9 1,2 1,5

MILLIMÈTRES PAR JOUR

4. UN RÉCHAUFFEMENT GLOBAL atteignant cinq degrés (en haut) augmenterait les précipitations (en bas) sur l'ensemble du Globe, au cours du XXI^e siècle. Ces simulations du climat dans la première moitié du XXI^e siècle sont fondées sur des estimations de 1992.

NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory