

ca

M'INTÉRESSE

DANGER L'HOMME DÉTRUIT LE CLIMAT

*Une menace
pour la vie
sur la Terre*

ELECTIONS U.S.

La machine à faire
des présidents

GOLF

Une folie
qui gagne
du terrain

JUMEAUX

Le mystère
de la vie
en double

AVENTURE

Voyage au coeur
d'un glacier

AFRIQUE DU SUD

La relève noire
a commencé

Notre enquête sur le trafic international

LA FILIERE FRANÇAISE DES VOITURES VOLÉES



M 1237 - 89 - 19.0
3791237019008

DANGER: **L'HOMME** **BOULEVERSE** **LE CLIMAT**

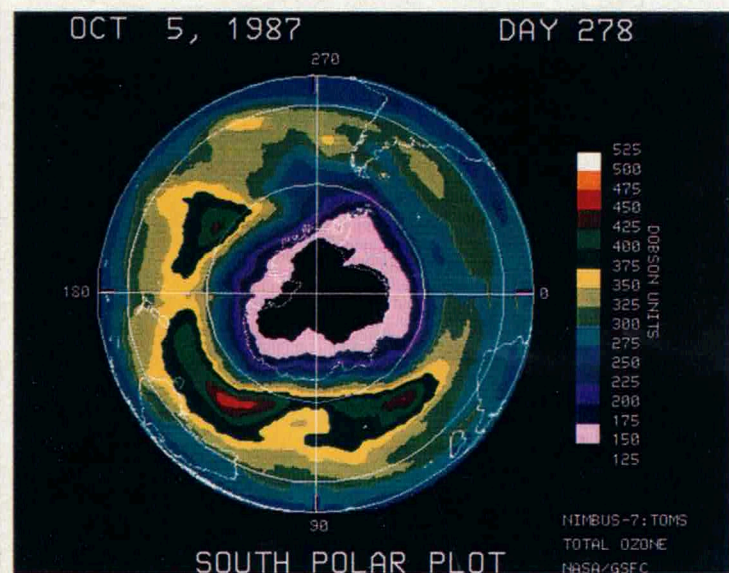
Les activités humaines mettent le climat en danger. La couche d'ozone qui protège notre planète est déchirée. La montée du gaz carbonique transforme l'atmosphère en serre. Un réchauffement inquiétant de la Terre est programmé pour les 50 ans à venir. Des milliers de chercheurs du monde entier tentent d'en évaluer les conséquences. Car le défi est de taille pour l'avenir de l'humanité.

OZONE : UNE DÉCHIRURE DE PLUS EN PLUS INQUIÉTANTE P. 58 • LA TERRE DANS 40 ANS : UNE SERRE SURCHAUFFÉE P. 61 • LE CLIMAT MOBILISE TOUS LES SAVANTS DU MONDE P. 64 • QUEL TEMPS FAISAIT-IL IL Y A 3 MILLIONS D'ANNÉES ? P. 66 • 2030 : TERRES ARIDES ET PORTS NOYÉS P. 68.

**DOSSIER RÉALISÉ PAR MARIE-JEANNE HUSSET AVEC NATALIE LEVISALLES,
ALAIN DUCALAIS ET NICOLAS WITKOWSKI**

OZONE: UNE DÉCHIRURE DE PLUS

L'écran d'ozone qui nous protège des rayons ultraviolets les plus dangereux se déchire au-dessus des pôles. Responsables: les bombes aérosols. Conséquences redoutées: une multiplication des cancers de la peau, la destruction d'espèces marines, la chute des rendements agricoles et une modification du climat.



UN TROU NOIR AU-DESSUS DU PÔLE SUD
Ce cliché, pris par le satellite américain Nimbus 7 en octobre 87, montre l'énorme trou de 7 millions de kilomètres carrés (en noir, rose et violet) dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique. L'ozone a diminué de 50 % en 5 ans.

Punta Arenas, à l'extrême sud du Chili, n'avait jamais accueilli autant de scientifiques. Ils étaient 150, Américains pour la plupart, envoyés par la NASA, la National Oceanic and Atmospheric Administration ou l'Association des industries chimiques, à passer là huit semaines, du 19 août au 30 septembre dernier, pour mener une campagne sans précédent. Son objectif: comprendre pourquoi, au-dessus de l'Antarctique, le bouclier d'ozone atmosphérique disparaît à chaque printemps austral.

C'est en 1985, après dix années d'observation à Halley Bay sur la mer de Weddell, près du pôle Sud, que Joe Farman et deux autres chercheurs du British Antarctic Survey donnent l'alarme: chaque mois d'octobre, au début du printemps austral, la quantité d'ozone au-dessus du pôle Sud diminue dangereusement. Entre 1979 et 1984, elle a même chuté de 40%! Aussitôt, des chercheurs de la NASA dépouillent les clichés envoyés

par leur satellite Nimbus 7 et confirment le phénomène. Cette découverte stupéfie aussi bien le grand public que les scientifiques. «Nous n'avions rien vu venir», avoue Gérard Mégie, directeur du laboratoire d'aéronomie du CNRS, l'un des spécialistes mondiaux de l'ozone. «Tous les modèles mathématiques développés jusque-là ne prévoyaient qu'une diminution d'ozone de 1% tous les dix ans.»

L'ozone est une molécule de gaz formée de 3 atomes d'oxygène. Bien qu'en faible quantité dans l'atmosphère terrestre, ce gaz joue un rôle primordial. Accumulé dans la stratosphère à une altitude de 15 à 25 km, il filtre les rayons ultraviolets les plus dangereux, nous'pro-

MOBILISATION DANS L'ANTARCTIQUE

Depuis la découverte du trou en 1984, toutes les bases permanentes installées dans l'Antarctique surveillent la couche d'ozone. Ici, à Mc Murdo, des chercheurs néo-zélandais mesurent la vitesse du vent avant de lâcher des ballons sondes qui rapporteront, de la stratosphère, des échantillons d'air à analyser.

NASA

BRUNO ZEHNDER

tégeant de leurs effets nocifs. C'est un voile très fin qui, s'il était étalé à la surface de la Terre, n'aurait que 3 mm d'épaisseur. Les premières inquiétudes des scientifiques datent du début des années 1970.

A cette époque, on envisage de développer une flotte d'avions supersoniques comme le Concorde, mais les écologistes américains craignent que les gaz d'échappement, en particulier les oxydes d'azote, ne détruisent l'ozone. De vastes

programmes de recherches sont lancés et, en 1974, un rapport publié par deux chercheurs américains révèle les effets destructeurs de certains produits chimiques, les chlorofluorocarbones (CFC). Les CFC sont partout. Ils servent de réfrigérants dans les compresseurs frigorifiques, de propulseurs dans les bombes aérosols de toutes sortes (mousses à raser, laques...), de solvants dans l'industrie électronique. On en consomme des quantités im-

US INQUIETANTE



pressionnantes : un million de tonnes par an. Ces CFC, stables dans la basse atmosphère, s'accumulent dans la stratosphère où, sous l'action du rayonnement solaire, ils sont détruits en libérant du chlore. Et le chlore attaque l'ozone. Le problème est d'autant plus préoccupant que ces produits ont des durées de vie très longues : 70, voire 100 ou 120 ans. Les émissions polluantes ne cessant d'augmenter depuis le milieu du siècle, ce n'est que

dans quelques décennies que les conséquences pourraient être les plus dramatiques.

10 % de cancers en plus pour 5 % d'ozone en moins

Quelques pour cent d'ozone en moins autour de la Terre signifient beaucoup plus d'ultraviolets qui passent. Lesquels provoqueraient une augmentation du nombre de cancers de

la peau : de 10 % pour une perte de 5 % d'ozone atmosphérique, soit 10 000 décès supplémentaires dans le monde (chaque année, 100 000 personnes meurent de cancer de la peau). Les UV entraîneraient aussi une hausse des lésions oculaires et un affaiblissement de notre système immunitaire.

La flore serait également touchée : on craint une oxydation accélérée des cellules végétales, entraînant une diminution de la photosynthèse, donc

À QUAND DES BOMBES SANS FRÉON ?

Nul ne met plus en doute aujourd'hui la responsabilité des chlorofluorocarbones (CFC) utilisés en particulier dans les bombes aérosols, dans la destruction de la couche d'ozone. A tel point que le chimiste Du Pont de Nemours, premier producteur mondial de CFC, vient d'annoncer qu'il en arrêtera la production d'ici à l'an 2000. Il va ainsi au-delà du Protocole de Montréal, signé le 1^{er} décembre 1987, qui prévoit une simple réduction de 50 % d'ici à la mi-1998. Il reste néanmoins aux chimistes à trouver des produits de substitution efficaces et non toxiques. Mais avant de se lancer dans la course, les 13 principaux fabricants de CFC — parmi lesquels le français Atochem, le japonais Daikin, l'américain Du Pont de Nemours et l'allemand Hoechst — se sont donné une règle du jeu. Ils ont décidé de réaliser en commun les tests de toxicité préalables à



Le chlore contenu dans les gaz des bombes aérosols détruit l'ozone.

toute fabrication industrielle des substituts envisagés et ont lancé le PAFT (Program for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing). Ces tests, qui ont démarré le 1^{er} janvier 1988, ne seront pas terminés avant 6 ou 7 ans. L'avantage pour les 13 firmes est de partager les quelque 70 millions que coûtent ces tests et aussi de se garantir mutuellement une reconnaissance internationale des résultats. « Il ne faut pas que la toxicité serve de prétexte au protectionnisme », résume Maurice Verhille, responsable de l'environnement chez Atochem. On dispose déjà de produits de remplacement pour les CFC employés dans les compresseurs frigorifiques et les bombes aérosols. Mais rien n'a encore été trouvé pour ceux qu'on utilise dans l'industrie électronique et les extincteurs d'incendie. En attendant, chacun de nous peut participer à la protection de la couche d'ozone en évitant d'utiliser les bombes aérosols.

un ralentissement de la croissance. Les arbres et l'herbe seraient les plus affectés. Les algues et le plancton marin seraient en grande partie détruits, bouleversant toute l'écologie marine. Une diminution de l'ozone aurait enfin une incidence sur les températures, c'est-à-dire sur la circulation de l'air atmosphérique et donc sur le climat de la Terre.

Déjà, à 40 km d'altitude, l'ozone a diminué de 7% depuis 1969. Mais c'est au-dessus de l'Antarctique que se creuse un véritable trou : «A cause du froid et de la présence de nuages de glace très particuliers», explique Gérard Mégie. Au-dessus du pôle Sud, la tem-

DUMAS/SIPA PRESS



DE L'AIR EN CAPSULES

Ce conteneur recevra les capsules d'air prélevé au-dessus du pôle Nord.

érature descend à -90°; la différence de température avec les zones voisines crée un tourbillon d'air (le vortex polaire) où les polluants chimiques restent piégés en se collant sur les cristaux de glace.

La campagne de recherche menée à Punta Arenas était justement destinée à mesurer les effets de la pollution chimique. Lâchers de ballons sondes, avions équipés d'appareils de toutes sortes, des moyens exceptionnels ont été mis en œuvre (coût: 10 millions de dollars). A 13 reprises, un DC8, avec à son bord 40 chercheurs et leurs instruments, a survolé le continent antarctique à 10 km d'altitude. Un ER2, une version civile de l'avion espion U2, a effectué 12 missions de 6 heures entre 14 et 18 km d'altitude, traversant les nuages de glace pour étudier la



AU PÔLE NORD, L'ÉCRAN EST MITÉ
L'hiver dernier, à Kiruna (Suède), 50 chercheurs français, allemands et suédois ont organisé la mission Chéops : 500 kg d'instruments, hissés à l'aide de 3 ballons géants, ont permis d'analyser l'air à 26 km d'altitude. Par endroits, l'ozone a déjà diminué de 15%.

BRUNO ZEHNDER

LA TERRE DANS 40 ANS: UNE SERRE SURCHAUFFÉE

D'ici à une quarantaine d'années, la température moyenne de la Terre aura augmenté de 1,5 à 4,5°C. Au banc des accusés : le gaz carbonique que la combustion du bois, du charbon, du pétrole et du gaz naturel accumule dans l'air, et la destruction des forêts tropicales. Les remèdes : réduire les consommations d'énergie et s'adapter, dès maintenant, aux grands changements climatiques qui s'annoncent.

Agaves et arbustes calcinés : c'est ce qui reste de la forêt méditerranéenne; le département des Bouches-du-Rhône est à moitié noyé; les Pays-Bas sont envahis par la mer du Nord; les grandes plaines du Middle West — l'ancien grenier à blé et à maïs de la planète — sont couvertes d'une végétation rabougrie; le port de New York est rayé de la carte, et des millions de Bengalis sont chassés de leur terre par les inondations du Gange.

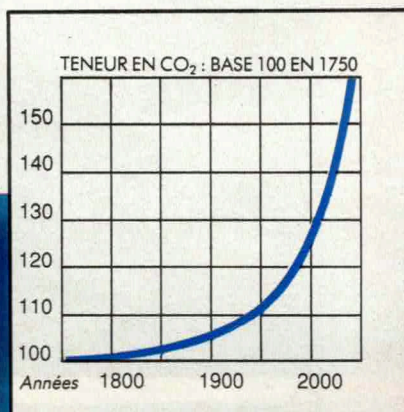
Ce scénario pourrait être celui d'un film catastrophe. Ce sont pourtant quelques-unes des conséquences que risque d'entraîner le réchauffement de la Terre. Les climatologues sont unanimes : d'ici à une quarantaine d'années, la température moyenne de notre planète aura augmenté de 1,5 à 4,5°C. Le changement nous est encore imperceptible mais il est bien réel : en un siècle, la température moyenne s'est déjà élevée de 0,6°C. Et le réchauffement s'est même accé-

léré au cours des dix dernières années. «Jamais l'homme, au cours de son histoire, n'aura connu une variation climatique d'une telle ampleur», observe le climatologue André Berger, professeur à l'université catholique de Louvain (Belgique).

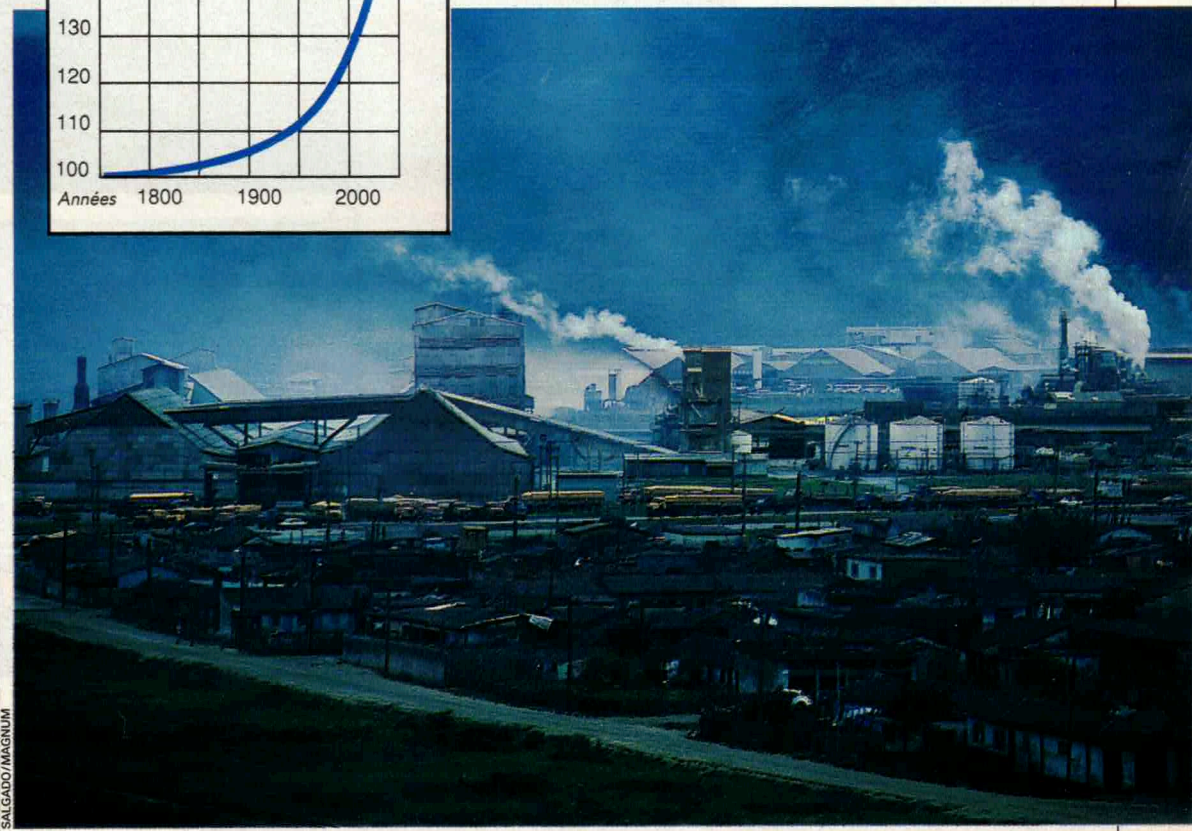
Qui en est responsable? L'homme. Ses activités provoquent l'accumulation dans l'atmosphère de plusieurs gaz appelés gaz de serre. Comme le verre d'une serre, ces gaz, dont le plus abondant est le gaz carbonique (CO₂), laissent pas-

La gravité du problème est telle que 56 Etats ont signé en septembre 1987, à Montréal, un protocole imposant une limite à la production de CFC. Trois étapes sont prévues : au 1^{er} juillet 1989, la production doit revenir au niveau de celle de 1986; au 1^{er} juillet 1993, elle doit diminuer de 20 %; et au 1^{er} juillet 1998, de 50 %. Seuls les pays en voie de développement, dont la consommation est inférieure à 0,3 kg par personne et par an, ont droit à un délai supplémentaire de 10 ans (cette consommation est de 1,3 kg aux Etats-Unis, de 0,92 kg en Europe). Ce protocole est d'autant plus remarquable que c'est le premier et le seul accord international imposant une action de protection de l'environnement.

«Mais il est désespérément insuffisant, s'écrie Joe Farman. Nous accumulons les CFC dans la stratosphère 5 fois plus rapidement qu'ils ne sont éliminés. Pour que la quantité d'ozone reste constante, il faudrait ramener leur production à 15 % du niveau actuel. Avec le protocole de Montréal, la quantité de chlore dans la stratosphère aura triplé d'ici à 2020.» □



DEUX FOIS PLUS DE CO₂ DANS L'AIR EN 2030 !
Depuis le début de l'ère industrielle, la teneur en CO₂ de l'atmosphère a augmenté de 25 %. Elle s'élèvera encore de plus de 25 % d'ici à 2030. Au début du XXI^e siècle, 50 % du CO₂ rejeté dans l'air proviendra des pays en voie de développement, contre 11 % en 1950 !



VIVRE SUR UNE PLANÈTE PLUS CHAUDE

ser les rayons du soleil et captent une bonne partie des infrarouges réfléchis par la Terre, emprisonnant ainsi la chaleur dans la basse atmosphère. Sans eux, la température à la surface de notre planète ne dépasserait pas -20°C ! Plus leur concentration augmente, plus la température s'élève. C'est ce qui se passe. Les cheminées des usines, des centrales thermiques, de tous les foyers qui brûlent du bois, du charbon, du pétrole ou du gaz naturel déversent chaque année quelque 20 milliards de tonnes de gaz carbonique dans l'atmosphère. Depuis le début de l'ère industrielle, c'est-à-dire en moins de deux siècles, la teneur en gaz carbonique a augmenté de 25 %; elle aura doublé vers 2030 ou 2050. La déforestation — 200 000 km² de forêts disparaissent chaque année — contribue à l'augmentation de la quantité de CO₂.

Que se passera-t-il quand l'océan sera saturé en CO₂ ?

Jusqu'ici, l'océan, formidable réservoir de carbone, a absorbé la moitié du CO₂ rejeté par l'industrie. « Mais dans quelle mesure pourra-t-il continuer à éponger cette quantité croissante de gaz carbonique ? », demande Liliane Merlivat, directeur du Laboratoire d'océanographie dynamique et de climatologie (Lodyc) de l'université Paris VI. On ne peut exclure l'éventualité d'une saturation. « Le processus d'absorption dépend, en effet, de la salinité, de la température de l'eau, des vents de surface et des courants; des phénomènes qui sont encore mal connus », poursuit Liliane Merlivat. On en saura sans doute plus en 1995 quand s'achèvera le programme de recherche international sur l'océan, baptisé WOCE (World Ocean Circulation Experiment), qui a mis en place un véritable quadrillage des mers du globe.

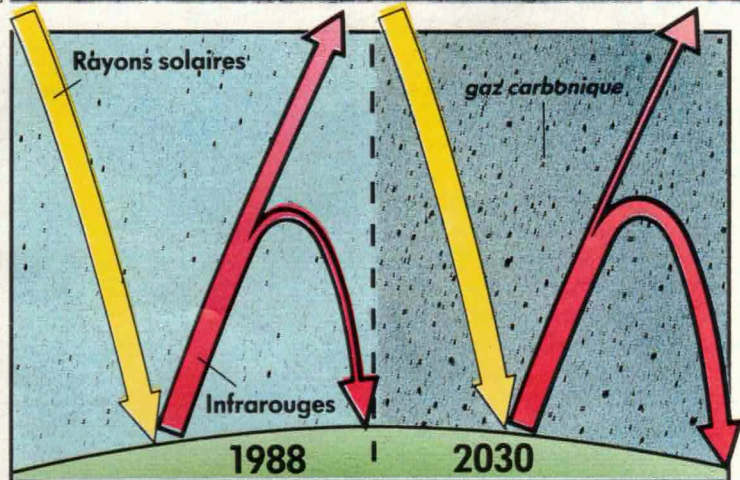


EDOUARD/EXPLORER

LE DÉSERT SUIV LA FORÊT

« Dans 50 à 70 ans, la forêt tropicale aura disparu », avertit François Ramade, professeur d'écologie végétale à l'université de Paris XI. En Amazonie, on brûle les arbres sur des dizaines de milliers de kilomètres carrés pour construire des routes et dégager des terres cultivables; à coups d'herbicides, on maintient des prairies 12 fois moins rentables qu'en Normandie. Et l'on épuise un sol qu'il faudra abandonner 5 ans plus tard pour aller déboiser plus loin. « L'enfer vert est en train de devenir un désert rouge », commente sombrement le spécialiste de la forêt. Et de fait, à chaque fois qu'on coupe une forêt, l'aridité augmente et le désert s'étend. En 25 ans, les Philippines ont perdu 55 % de leurs arbres. En 1950, 70 % du Costa-Rica étaient couverts de forêts. Aujourd'hui, ce chiffre est tombé à 20 %. Même tableau en Thaïlande et en Inde. En 40 ans, la forêt tropicale a diminué de moitié. Au total, 200 000 km² de forêts disparaissent chaque année en fumée, entraînant une menace pour la faune et la flore (1 million d'espèces tropicales n'existeront plus dans 15 ans) et un bouleversement du climat. « En Amazonie orientale par exemple, les pluies sont deux fois plus faibles qu'autrefois, souligne François Ramade. Et ce n'est pas fini : dans le bassin du Congo, 70 % des précipitations sont dues à la forêt. Si on l'abat, la région deviendra inévitablement semi-aride. »

SILVESTER/GRAPHO



LA TERRE SUBIT L'EFFET DE SERRE
Comme une vitre, le CO₂ retient la chaleur en absorbant les infrarouges réfléchis par la Terre. En 2030, la quantité de CO₂ ayant doublé, la température augmente de 1,5 à 4,5°C.



L'AMAZONIE PART EN FUMÉE

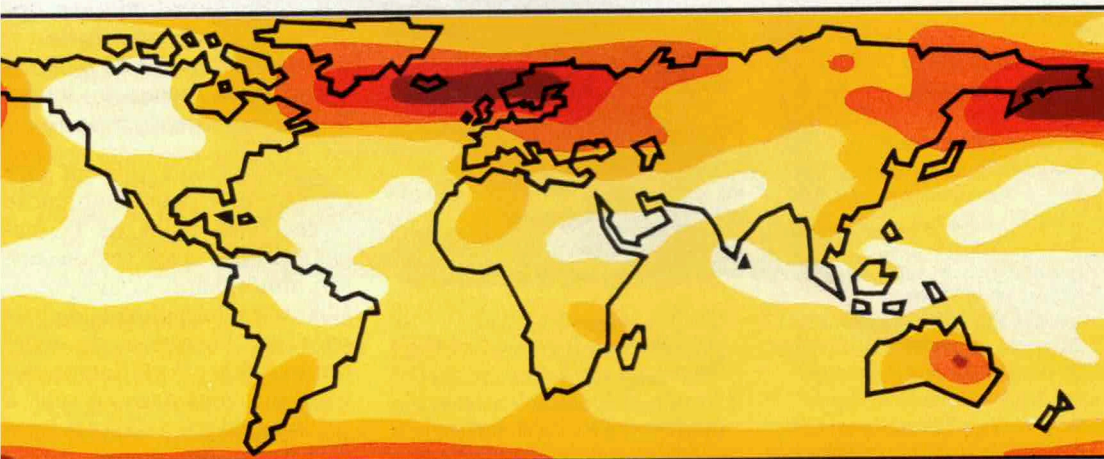
200 000 km² de forêts tropicales sont rasés chaque année. L'Amazonie a déjà perdu une superficie égale à la France. On brûle les arbres pour mettre les terres en cultures et tailler des routes pour accéder aux mines. Conséquence grave pour le climat : les pluies diminuent et le désert progresse.

D'autres gaz à effet de serre s'accumulent encore dans l'atmosphère. En trois siècles, la quantité de méthane a été multipliée par 2,5; et elle croît de 1% par an, une hausse directement liée aux activités agricoles : le méthane est rejeté par les animaux domestiques et par les rizières. Egalement en augmentation, le protoxyde d'azote dégagé par les engrais azotés et les chlorofluorocarbones (CFC), ceux-là mêmes qui provoquent la destruction de la couche d'ozone atmosphérique (voir p. 58). Quelles en seront les conséquences ?

Nous brûlons trop de bois, de pétrole et de gaz naturels

Selon les différents scénarios envisagés, la température moyenne de la Terre augmenterait de 1,5 à 4,5°C en 2030. Une Terre plus chaude, cela signifie une remontée du niveau des mers, de 20 cm à 1,4 m : de larges bandes côtières seraient immergées, les tempêtes et les inondations auraient des effets encore plus dévastateurs. Et le danger le plus grave est le bouleversement du régime des pluies avec le déplacement des zones arides : toute l'agriculture mondiale serait touchée (voir p. 68).

Alors quelles mesures pourra-t-on prendre ? Certains spécialistes suggèrent de planter des forêts, mais « il faudrait reboiser chaque année une superficie égale à la France pour absorber l'excès de gaz carbonique », explique Bernard Saugier, professeur d'écologie végétale à Orsay. C'est impensable. Réduire notre consommation de combustibles fossiles serait la solution la plus judicieuse. Le choc pétrolier des années 1970 a eu de ce point de vue des effets bénéfiques. On pourrait développer l'énergie solaire, ou recourir davantage au nucléaire. Mais comment résoudre le problème des déchets radioactifs ? Enfin, pour se développer, les pays pauvres vont consommer de plus en plus d'énergie. Alors les pragmatiques y vont carrément : ils conseillent de préparer dès maintenant la vie sur une Terre plus chaude. □



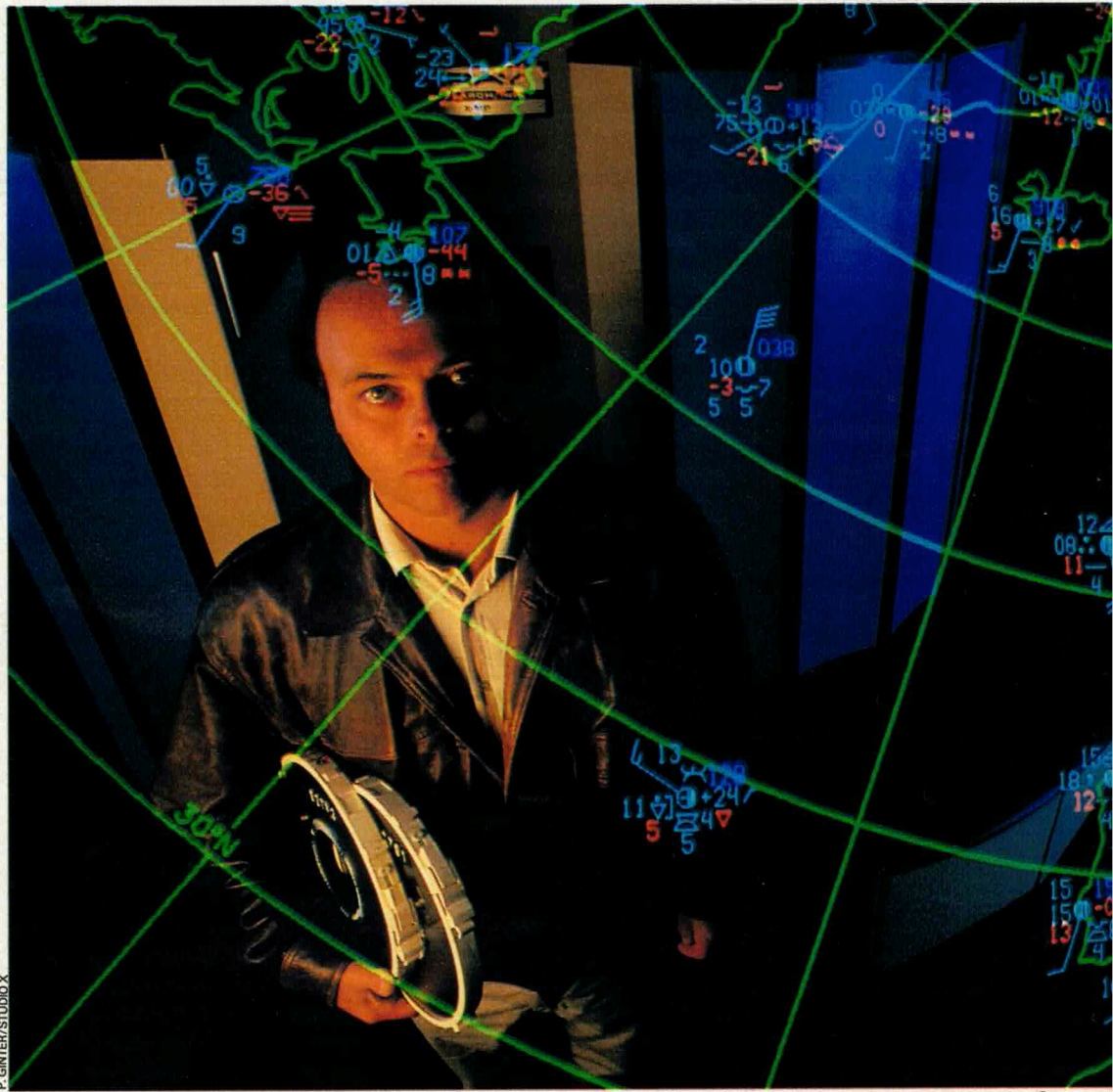
ÇA VA CHAUFFER : LES PÔLES PRENNENT 10°
Voici le réchauffement prévu en cas de doublement de la teneur en CO₂ de l'atmosphère : plus de 10°C aux hautes latitudes; 4 à 6°C dans nos régions; moins de 2°C à l'équateur.

moins de 2°C	6-8°C
2-4°C	8-10°C
4-6°C	plus de 10°C

LE CLIMAT MOBILISE TOUS LES SAVANTS

Super-ordinateurs, batterie de satellites, stations de mesure au sol. La communauté scientifique internationale se mobilise pour lancer le plus vaste programme mondial de recherche. Objectif : comprendre les variations du climat de notre planète et évaluer l'impact des activités humaines.

Pour les spécialistes du cosmos, 1992 ne sera pas seulement le 500^e anniversaire de la découverte de l'Amérique : elle constituera la première Année internationale de l'espace (Isy, pour *International Space Year*). Le grand thème retenu pour cette année spatiale est... l'étude de la Terre ! Paradoxe ? « Pas du tout », nous répond Harvey Mayerson, le président du comité américain pour l'ISY. « A l'heure des interrogations sur l'échauffement (ou le refroidissement !) de la planète, sur l'effet des activités humaines sur l'environnement, tous les



ICHTIAQUE RAŞOOL : « LA TERRE EST UNE PLANÈTE UNIQUE »

Le projet Global Change repose sur cet homme au destin peu commun, aujourd'hui scientifique en chef à la NASA.

« **N**ous vivons sur le joyau du système solaire. Regardez Mars et Vénus, ces deux planètes qui auraient pu être des sœurs de la Terre. La première a porté des rivières, des océans peut-être, mais aujourd'hui elle n'est plus qu'un désert rouge et glacé, balayé par des tempêtes de poussière, et totalement impropre à supporter la vie... Quant à Vénus, c'est l'enfer : une énorme chappe de gaz carbonique et de nuages d'acide maintient à sa surface une température de 470 °C ! La Terre est vraiment une planète unique, que nous devons préserver à tout prix. »
Élégant, mince, presque fragile, Ichtiaque Rasool est le globe-trotter infati-

gable du projet *Global Change* de la NASA. De Paris à Tokyo, de Washington à Caracas, il parcourt le monde pour amener organismes scientifiques et les agences spatiales à travailler ensemble pour rassembler et interpréter les données qui permettront de comprendre le fonctionnement de cette machine complexe qu'est la biosphère. Etonnant destin que celui de cet homme né au Pakistan voici 55 ans, et devenu scientifique en chef à la NASA. Un jour, un automobiliste anglais a pris le jeune adolescent en stop, l'a engagé comme aide dans la station météo



dont il était responsable, puis l'a envoyé faire des études en Angleterre et en France. Aujourd'hui, Ichtiaque Rasool nous dit : « Jamais la Terre n'a porté autant d'hommes (5 milliards). Jamais l'érosion n'a été aussi forte, la culture aussi intense, les changements chimiques aussi importants. La situation est sans précédent, et nous devons comprendre quel sera son impact sur le climat et sur l'environnement. »

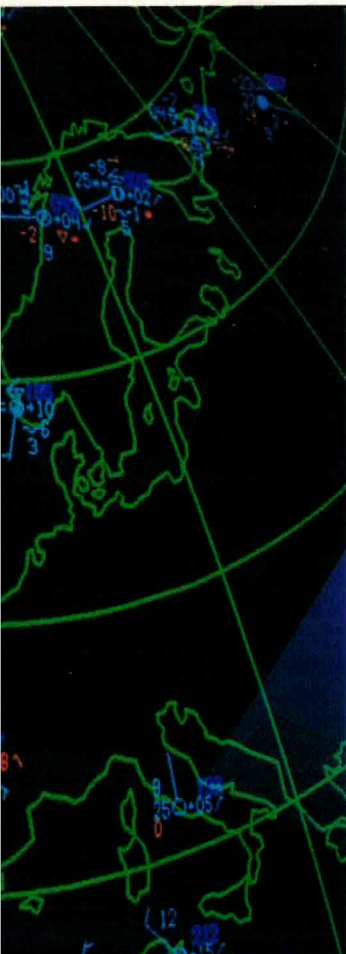
80 MILLIONS DE DONNÉES MÉTÉO PAR JOUR

Chaque jour, l'ordinateur du centre météorologique européen de Reading (près de Londres) traite les 80 millions de données reçues des 9 000 stations météo du monde.

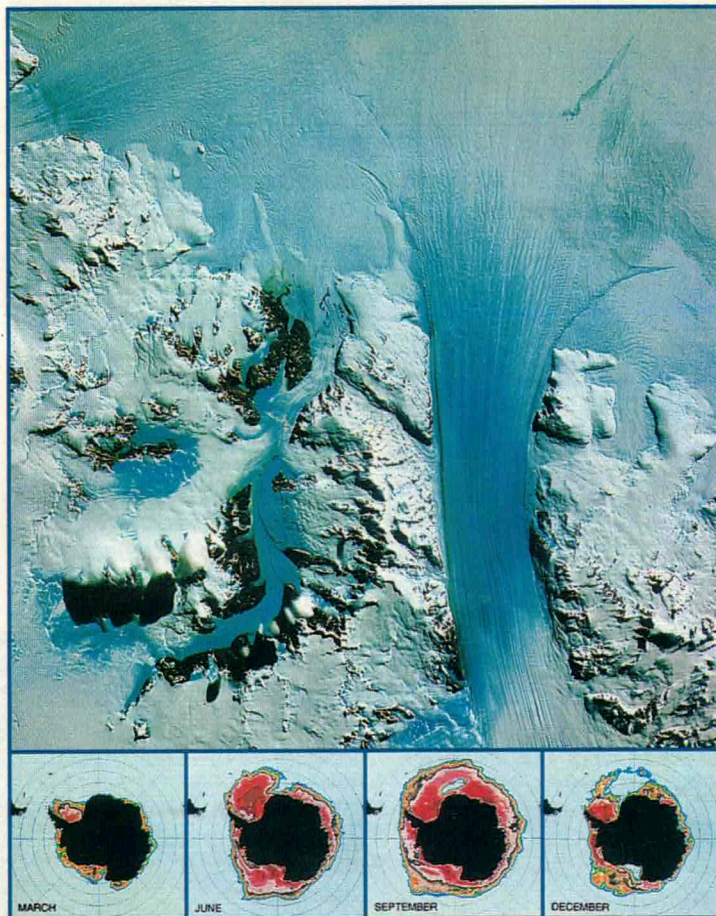
moyens spatiaux doivent être mis en œuvre pour comprendre le fonctionnement de la machine Terre, avec ses océans, son atmosphère, sa biosphère. L'Année internationale de l'espace est l'occasion de fédérer tous les efforts internationaux qui vont dans ce sens. »

Un grand pas a déjà été franchi à la fin d'avril 1988 : les représentants de toutes les grandes organisations spatiales se sont réunis dans le New Hampshire, sous la présidence du ministre français de la Re-

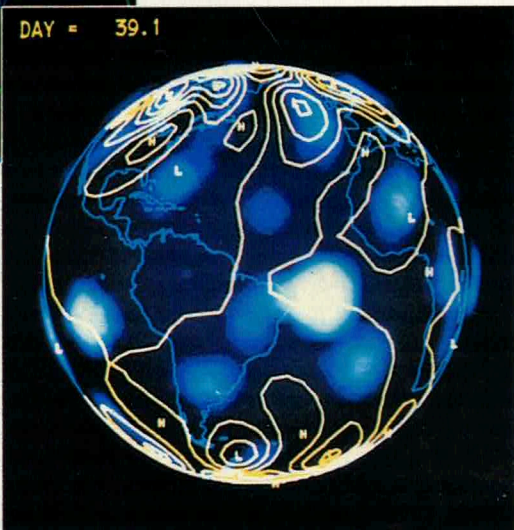
TS DU MONDE



ATMOSPHÈRE, ATMOSPHÈRE
 Cette carte, établie par ordinateur, simule la circulation générale de l'atmosphère. Elle montre les lignes de basses et hautes pressions, et les nuages.



L'ANTARCTIQUE VU PAR SATELLITE
 Les satellites permettent d'observer les variations des glaces de l'Antarctique. En rouge, couverture maximale (hiver); en bleu pâle, minimale (été).



NCAR

cherche Hubert Curien, pour coordonner leurs programmes d'observation de la Terre. Ce mouvement s'inscrit dans un contexte beaucoup plus large: la mobilisation de la communauté scientifique mondiale en faveur d'un immense programme appelé *International Geosphere/Biosphere Programm* (IGBP). Le sous-

titre de ce projet, *Global Change*, permet de comprendre son ambition: rassembler toutes les données nécessaires pour déterminer quels changements, en particulier climatiques, se produisent autour de nous, lentement, insensiblement, voire inexorablement! Autrement dit, répondre à toutes les questions sur l'avenir du

veauté: dès 1960, la NASA a mis en orbite Tyros-1, avec une caméra infrarouge photographiant la couche nuageuse. Et, aujourd'hui, toute une armada de satellites contribue à la collecte de données sur les terres, les mers et dans l'atmosphère. Comme, par exemple, les satellites météorologiques NOAA (Etats-Unis), Meteor (URSS), Meteosat (Europe), ou les plates-formes d'études des ressources terrestres Landsat (pour les Américains) et Spot (pour les Français).

Une véritable révolution pour la météo

En quoi le programme international *Global Change* marque-t-il un progrès décisif dans l'utilisation des satellites pour l'étude du climat? Essentiellement à cause de la coordination qu'il implique! Désormais, toutes les données de tous les types d'engins spatiaux vont pouvoir être utilisées ensemble par les chercheurs du monde entier pour étudier globalement la Terre.

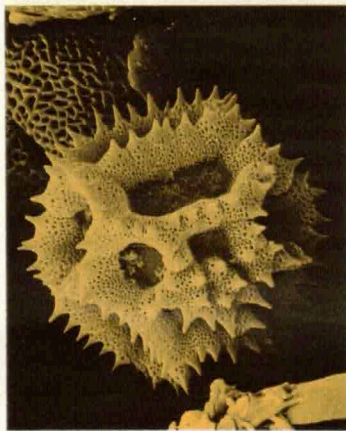
En outre, de nouveaux engins très performants vont être lancés dans les prochaines années: le satellite radar européen ERS-1 en 1990, spécialisé dans l'observation des surfaces marines et glacées, ou l'engin franco-américain Topex/Poséidon, qui devrait bouleverser après 1992 notre connaissance des océans. Et un peu plus tard, vers 1995, un pas encore plus important sera franchi avec la mise en service de plates-formes polaires dans le cadre du programme de station spatiale internationale des Etats-Unis, du Canada, du Japon et de l'Europe.

Ces engins, très lourds (plus de 10 t), d'une grande longévité (plus de 10 ans), porteront à la fois des instruments pour l'étude de la météorologie, l'analyse des ressources terrestres, l'observation des océans, mais aussi pour de nouvelles recherches sur l'atmosphère ou la végétation... Toutes les questions importantes relevant de la climatologie et de l'étude de la biosphère pourront être abordées simultanément. Une véritable révolution! □

QUEL TEMPS FAISAIT-IL IL Y A 30 MILLIONS D'ANNÉES ?

Depuis des millions d'années, le climat de la Terre oscille avec régularité du froid des grandes glaciations à la chaleur des périodes semblables à la nôtre. Dans les glaces polaires, le fond des océans, les pollens fossiles, les climatologues retrouvent les traces du passé. Pour mieux prévoir l'avenir.

L'hiver prochain sera-t-il doux ou très froid ? L'été pluvieux ou sec ? Les récoltes seront-elles bonnes ou mauvaises, les montagnes enneigées ou pas ? Voilà qui nous intéresse tous. « Dans une dizaine d'années, on pourra prévoir le climat d'une région d'une année sur l'autre », annonce le climatologue Laurent Labeyrie, chercheur au Centre des faibles radioactivités de Gif-sur-Yvette. Grâce à l'étude des climats du passé, ou paléoclimatologie, les scientifiques peuvent aujourd'hui reconstituer, à partir de modèles mathématiques établis sur ordinateur, les climats de la planète au cours des derniers millions d'années.



DE PRÉCIEUX TÉMOINS : LES POLLENS FOSSILES
Fossilisés dans les tourbières et au fond des lacs, les pollens fournissent des informations précises sur les changements de végétation, donc sur le climat d'une époque.

remonter à plusieurs siècles. Les anneaux des troncs d'arbres (vivants ou fossiles) indiquent les fluctuations climatiques des derniers millénaires : tous les ans, en effet, les arbres fabriquent un nouvel anneau dont la largeur dépend des conditions climatiques. Un anneau mince, par exemple, signifie une période froide. Les pollens fossiles, préalablement datés, apportent des informations très précises sur la végétation (et donc le climat) d'une époque. Transportés par les vents, ils se sont accumulés au fond des lacs et dans les tourbières. Ces grains microscopiques, piégés dans une tourbière en Ariège, ont ainsi révélé la prédominance, il y a 18 000 ans, de l'armoise, une herbe caractéristique de climats froids.

En analysant des carottes extraites des glaces antarctiques, on retrace le climat des 150 000 dernières années (lire

encadré). Mais la mémoire de la Terre, ce sont aussi les sédiments marins. « La climatologie étudie le fond des océans où se déposent depuis des millénaires, en couches superposées, les coquilles des foraminifères, de minuscules animaux marins », explique Laurent Labeyrie. Ces foraminifères sont de véritables thermomètres. Ils permettent de retrouver, à 1°C près, la température de l'eau dans laquelle ils vivaient. La méthode consiste à doser, dans les coquillages fossiles, l'oxygène lourd (appelé

oxygène 18, un isotope de l'oxygène). Une forte proportion d'oxygène 18 indique une grande glaciation, car la glace, en se formant, ne retient pas l'oxygène 18 qui s'accumule alors dans l'eau de mer et dans les coquillages.

Le climat a aussi des sautes d'humeur

Le climat a varié de façon spectaculaire selon des cycles où alternent périodes glaciaires et périodes chaudes (interglaciaires, disent les climatolo-

La mémoire de la planète est déposée au fond des mers

Le climat résulte de jeux subtils entre l'atmosphère, les océans, les glaces, la végétation et tous les organismes vivants. « Nous ne comprenons pas encore tous ces mécanismes extraordinairement complexes, poursuit Laurent Labeyrie. Et aucun ordinateur actuel n'est assez puissant et rapide pour traiter tant de paramètres. Mais dans quelques années, nos modèles seront plus perfectionnés ; ils nous retraceront en détail ce qui s'est passé et nous pourrions simuler avec précision ce qui se produira. »

Les climatologues sont d'ores et déjà bien informés par l'analyse de tous les témoins des climats disparus. Les stations météo récentes ne donnent des renseignements que pour les cent dernières années environ. L'étude des archives, des récits, permet de

150 000 ANS D'HISTOIRE DANS LA GLACE POLAIRE

Les glaces polaires accumulées depuis des milliers d'années renferment des petites bulles d'air, dont l'analyse révèle la composition chimique et la température des atmosphères du passé. Ainsi, l'étude d'une carotte de glace, forée à 2 000 mètres de profondeur dans l'Antarctique par les Soviétiques, a permis au glaciologue français Claude Lorius de reconstituer le climat depuis 150 000 ans.



DR PAUL MAYEVSKI/MARK S. TWICKLER

gues). Les grandes glaciations se succèdent tous les 100 000 ans, les plus modérées tous les 20 000 ans. Au cours du dernier million d'années, le régime glaciaire s'est ainsi répété 13 fois. Le dernier date de 18 000 ans. Un programme international, baptisé CLIMAP, a reconstitué l'état de la planète. Une énorme calotte glaciaire de 3 km d'épaisseur recouvre le nord de l'Amérique et le nord de l'Europe. L'Irlande et l'Angleterre sont sous les glaces. Une steppe s'étend sur la France, la banquise dérive à l'embouchure de la Loire. Le niveau de la mer est 120 mètres plus bas que celui d'aujourd'hui : on traverse la Manche à pied sec. C'est l'époque où l'homme de Cro-Magnon chasse le renne en Dordogne. A l'inverse, les périodes chaudes ressemblent à celle que

TOUT DANS LES ANNEAUX
La largeur des anneaux de croissance des arbres nous indique le climat qui régnait lors de leur formation.

M. LANGENHEIM



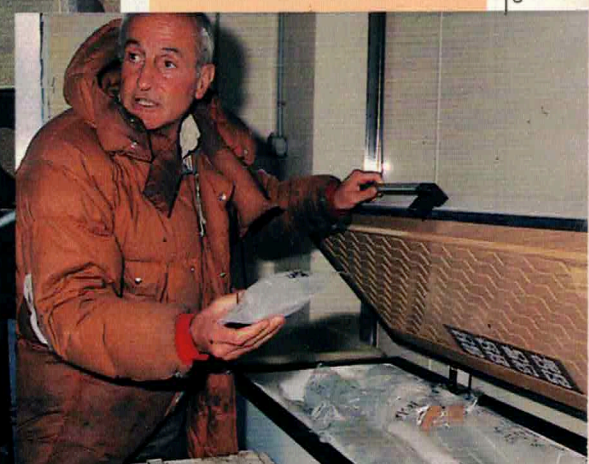
nous vivons. Dans 5 000 ans, la Terre devrait entrer dans une nouvelle période glaciaire et, dans 60 000 ans, retrouver une grande glaciation. En fait, ces grands changements du climat ne se sont traduits que par de faibles écarts

de la température moyenne du globe. Il y a 18 000 ans, au plus fort du dernier âge glaciaire, la température moyenne n'était que de 5°C inférieure à celle d'aujourd'hui (qui est de 15°C). Pendant la dernière plus grosse chaleur, il y a 7 000

LE MESSAGE DES MICRO-BULLES

Claude Lorius a hésité : Tamasrasset ou l'Antarctique ? C'était en 1956. Il a finalement opté pour l'Antarctique : trente ans plus tard, il dirige, à Grenoble, le laboratoire de glaciologie du CNRS (associé à l'université), et a succédé à Paul-Emile Victor à la tête des Expéditions polaires françaises. Ses travaux sur les glaces font autorité dans le monde entier, notamment ceux qui concernent la paléoclimatologie. « Les glaces de l'Antarctique, accumulées depuis des milliers d'années, fournissent des preuves directes des climats de jadis : elles emprisonnent des petites bulles d'air qui nous livrent des fragments intégralement conservés des atmosphères passées. » Après avoir pratiqué leurs propres carottages, les chercheurs de Grenoble étudient maintenant des fragments de carottes prélevées par les Soviétiques dans leur base permanente de Vostok, à plus de 2 000 mètres de profondeur; les plus vieilles glaces ont 150 000 ans. Lorius et son équipe, avec l'aide de chercheurs du CEA, ont mis au point une technique sophistiquée pour libérer, puis analyser les micro-bulles d'air qu'elles renferment, sans les laisser « polluer » par l'atmosphère d'aujourd'hui. Les premiers résultats, publiés l'an dernier, ont fait sensation :

C. PHILIBERT



Le glaciologue C. Lorius.
depuis 150 000 ans, « la température moyenne du globe et la composition de l'air en CO₂ sont très étroitement liées ». La teneur en CO₂ est plus élevée pendant les périodes chaudes, plus faibles pendant les périodes froides. Aujourd'hui, il fait un peu plus chaud qu'il y a un siècle. Et il y a dans notre atmosphère 25 % de gaz carbonique en plus. Un record des derniers 150 millénaires. Et c'est bien là le plus inquiétant. »

ans, il ne faisait que 2°C de plus qu'aujourd'hui, et le Sahara était luxuriant. Localement, les variations étaient énormes.

Quelles sont les causes des fluctuations du climat? A l'échelle du million d'années, c'est la dérive des continents qui intervient en modifiant l'étendue des océans. Quand les courants océaniques chauds ne peuvent remonter vers les pôles, la neige, qui réfléchit comme un miroir les rayons du soleil, ne peut fondre et le froid s'accroît. L'astronomie explique les cycles réguliers de 100 000 ans : l'astronome yougoslave Milankovitch a, le premier, émis cette hypothèse en 1940 : l'orbite de la Terre autour du Soleil varie au cours du temps; elle passe d'une forme circulaire à une ellipse tous les 100 000 ans environ. L'axe des pôles change aussi peu à peu d'inclinaison à des rythmes de 40 000 et 20 000 ans. « Ces concordances n'ont rien de surprenant, car toutes ces variations modifient l'éner-

gie que la Terre reçoit du Soleil », explique le physicien André Berger. Ses calculs ont confirmé, au début des années 1970, la théorie « astronomique » de Milankovitch. Au même moment, les géologues analysant les sédiments marins, les carottes de glace polaire ou les pollens fossiles en apportaient la preuve.

Mais la théorie astronomique n'explique pas tout. Le climat a aussi des humeurs millénaires, parfois séculaires. Nul n'en a encore trouvé les raisons. Certains accusent le Soleil : ses regains d'activité, qui se traduisent par l'apparition à sa surface de nombreuses taches, ou ses « faiblesses » modifieraient la température de l'atmosphère. En revanche, tous les scientifiques sont d'accord : à tous ces phénomènes naturels qui agissent depuis que la Terre existe, il faut ajouter la pollution atmosphérique. Les activités humaines sont en train de brouiller toutes les cartes. □

2030: TERRES ARIDES ET PORTS NOYÉS

Inondations dévastatrices des régions côtières, sécheresses menaçant les grandes plaines aujourd'hui fertiles sont les conséquences prévisibles du réchauffement et de la hausse du niveau des mers.

Nous qui vivons sous un climat tempéré, nous sommes des privilégiés. Un hiver très froid, un été trop sec, une petite tornade et nous crions au scandale, oubliant les catastrophes fréquentes qui frappent de nombreuses régions du monde. Nous avons l'impression que le climat est stable, immuable. La paléoclimatologie nous ap-

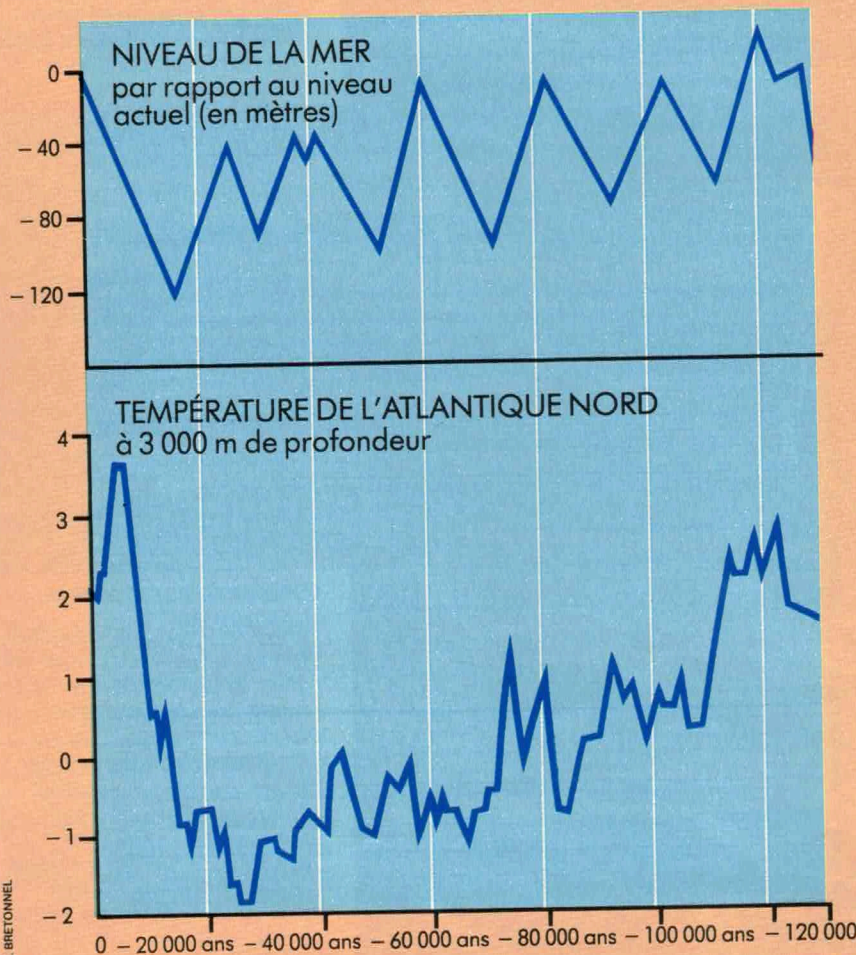
prend au contraire qu'il a, dans le passé, subi de grands changements, variant du froid extrême des ères glaciaires à la chaleur des périodes intermédiaires. Certes, ces fluctuations naturelles se produisent à des échelles de temps de 20 000 ans ou 100 000 ans. Nous entrons ainsi dans une phase glaciaire qui atteindra son paroxysme dans 60 000 ans environ.

La reconstitution des climats disparus révèle aussi que les fluctuations naturelles ne se traduisent que par de faibles écarts de température moyenne du globe. Ainsi, au cours des 10 000 dernières années, la température a à peine varié de 1 ou 2 °C. Les hommes et tous les autres systèmes vivants ont eu le temps de s'adapter. D'une tout autre ampleur sont les bouleversements que nous sommes en train de provoquer au rythme où nous brûlons bois, charbon, pétrole et gaz naturel. Avec le doublement prévisible de la concentration en gaz carbonique, la Terre sera, dans 50 ans, plus chaude qu'elle n'a jamais été.

De très graves conséquences sur l'agriculture

Les conséquences sont difficiles à prévoir aujourd'hui. Tout dépend d'abord des quantités de CO₂ qui continueront à être déversées dans l'air, c'est-à-dire des consommations d'énergie au cours des prochaines années. Et puis les scientifiques eux-mêmes sont loin de tout comprendre. « On ne maîtrise pas encore bien tous les

5°C À PEINE NOUS SÉPARENT D'UNE GLACIATION



Le climat oscille avec régularité entre périodes glaciaires et périodes chaudes semblables à celle que nous vivons aujourd'hui. De grandes glaciations se produisent tous les 100 000 ans, de plus modérées tous les 20 000 ans. Le niveau de la mer diminue, car d'énormes calottes de glace se forment. Ainsi, il y a 18 000 ans, le niveau des mers avait baissé de 120 m; le volume des glaces continentales atteignait 80 millions de kilomètres cubes, soit 50 millions de plus qu'aujourd'hui, répartis surtout dans l'hémisphère Nord. Mais ces grands changements se traduisent par de faibles écarts de la température moyenne du globe : 5°C pour l'eau de fond (3 000 m) dans l'Atlantique Nord.



L'EAU MONTE ET LE DÉSERT AVANCE
Les inondations du delta du Gange feraient se déplacer 20 % de la population du Bangladesh; et le désert africain s'étendrait.



phénomènes très complexes mis en jeu : le rôle des océans, l'effet des nuages, de la végétation », avoue Pierre Morel, responsable du programme de recherche mondial sur le climat à l'OMM (Organisation météorologique mondiale). La plupart des modèles mathématiques prévoient néanmoins une élévation de la température moyenne de l'ordre de 3°C d'ici à 2030, mais avec des écarts plus importants selon les régions. En fonction des saisons, elle augmente ainsi, aux hautes latitudes (Canada, nord de l'Europe...), de plus de 10°C, de 1 à 2°C sous les tropiques. Dans nos régions, les hivers seront plus courts et plus doux, les étés plus longs et plus chauds. Le régime des pluies s'en trouvera aussi modifié, plus de chaleur signifiant plus d'évaporation. Dans les zones tempérées, il pleuvra plus l'hiver tandis que les étés

seront plus secs. C'est surtout l'agriculture mondiale qui sera touchée. Les régions déjà arides, comme celles qui bordent la Méditerranée, risquent de le devenir encore plus.

Le réchauffement prochain devrait noyer la Camargue

A priori, une augmentation de CO₂ est bénéfique pour la croissance des plantes; on pourra donc s'attendre à une hausse des rendements. Mais l'élévation de température sera néfaste pour la plupart des espèces et en particulier le maïs

et le blé, repoussant les grandes zones céréalières de la planète (le Middle West américain, les grandes plaines d'Europe) vers le nord. Encore faut-il que les sols soient aptes à recevoir ces cultures. En fait, certaines régions seront favorisées, d'autres connaîtront des conditions plus difficiles, désertification et érosion des sols risquant de s'aggraver.

Le réchauffement entraînera une hausse du niveau des mers. Il n'est pas suffisant, pense les scientifiques, pour faire fondre les glaces polaires, mais les océans s'étendront en se réchauffant. Selon les modèles, les mers pourront monter de

20 cm à 1,4 m. Cela suffira à faire disparaître une multitude de plages et d'îles, à amplifier les dégâts causés par les tempêtes. Près d'un tiers de l'humanité vit à moins de 60 km de la mer. Même une hausse de 20 cm devient catastrophique pour un pays comme la Hollande où les digues ont été calculées en fonction du niveau actuel. Les deltas seront les plus menacés : ceux du Mississippi, du Nil, du Gange. 15 à 20 % de la population d'Égypte, 10 à 20 % de celle du Bangladesh seront obligées de se déplacer. En France, la Camargue sera complètement immergée.

Certes, les scientifiques ne sont pas encore capables de préciser tous les effets. Mais, comme le dit le Pr André Berger, « ces bouleversements climatiques constituent certainement, pour les années à venir, l'un des plus grands défis que l'humanité devra relever ».