

# SCIENCE & VIE



*Les 5 gènes qui nous rendent inégaux devant la maladie*

*Comment la physique atomique est passée d'Europe aux U.S.A.*

*Les richesses des mers iront-elles au plus fort?*

## **POLLUTION DES COTES : UN DIAGNOSTIC PAR SATELLITE**

SEPT. 76 / N° 708 / BELG. 50 FB / SUISSE 4,5 FS / CANADA \$ 1,60

6 F

**LA GRANDE SECHERESSE :  
UN EPISODE...  
DU REFROIDISSEMENT  
DE LA TERRE?**

# LE TEMPS CYCLE OU

*Depuis 1971 le temps se dérègle sur l'ensemble de la planète; l'apparition d'une nouvelle ère glaciaire n'est pas à exclure, ce qui serait une catastrophe pour l'agriculture. Jamais les réserves alimentaires n'ont été aussi faibles dans le monde, la population augmente et ce sont les pays les plus défavorisés qui sont aussi les plus vulnérables. Prévoir l'évolution du climat à long terme apparaît alors indispensable.*

● Un cheptel affamé dans lequel il faudra peut être abattre une bête sur quatre, des rendements diminués de 20 % pour les céréales d'hiver, des récoltes réduites à néant pour les cultures de printemps comme le maïs, la betterave à sucre ou la pomme de terre : les conséquences de la sécheresse qui a accablé l'agriculture française depuis le mois de décembre 1975 sont rudes. Et le bilan économique bien qu'on ne puisse pas encore le chiffrer avec précision, sera sévère : les exportations de blé diminueront de 1,5 milliard de francs et celles de céréales fourragères de 500 millions. On redoute un manque à gagner de 500 millions pour le sucre et les betteraves et de 1 milliard pour le maïs. C'est donc au bas mot 4 milliards de déficit supplémentaire que la sécheresse coûtera à notre balance commerciale, sans compter le pétrole supplémentaire que l'EDF devra importer pour compenser la baisse de production de ses installations hydrauliques.

Quelles qu'en soient les causes, cette sécheresse exceptionnelle est à rapprocher de la liste des aberrations climatiques qui, depuis quelques années, secouent l'agriculture mondiale : mau-

vaises récoltes successives en URSS et en Inde, années de sécheresse consécutives dans le Sahel privé de mousson, disparition des bancs d'anchois au Pérou à cause du déplacement des courants marins froids, chute des récoltes de céréales en Amérique du Nord, raccourcissement de la saison de végétation en Europe du Nord, etc.

Cette sécheresse, comme ces anomalies donne incontestablement un regain d'actualité au rapport sur la recherche climatologique que la C.I.A. publiait en août 1974 sous le titre : « A study of climatological research as it pertains to intelligence problems »<sup>1</sup>.

Ce document on s'en souvient, annonçait que les bouleversements climatiques en cours — qui se résument par un refroidissement généralisé — allaient modifier la carte agricole mondiale, transformer l'équilibre entre les grandes masses géopolitiques, et entraîner des bouleversements économiques et politiques « qui dépassent presque nos capacités de compréhension ». A en croire les auteurs, le grenier à blé du Kazakhstan deviendrait un désert, l'Europe parviendrait tout juste à équilibrer ses besoins, la Chine

# CHANGE, ACCIDENT?

et l'Inde seraient ravagées par des famines cycliques et rapprochées, le Canada lui-même ne produirait plus que la moitié de sa récolte actuelle. Seuls, comme par miracle, les Etats-Unis seraient épargnés par la fatalité naturelle.

Bien que les intentions politiques soient ici évidentes — n'oublions pas que les Américains ont donné une publicité soudaine à ce rapport à la veille de la dernière réunion de la Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le développement où, une fois de plus, allaient être abordés les problèmes des relations économiques entre les pays pauvres et les pays riches<sup>2</sup> — il n'est pas question d'écarter à la légère les conclusions de ce document qui se fonde sur les travaux scientifiques d'un climatologue de renommée mondiale, le Pr Reyd A. Bryson.

Les lecteurs de Science & Vie connaissent depuis longtemps les thèses avancées par Reyd Bryson, fondateur de l'Institut climatologique de l'Université du Wisconsin aux Etats-Unis et celles de Hubert Lamb, directeur de l'université britannique d'East Anglia (cf. S. & V. n° 681 et 691).

Rappelons les grandes lignes des travaux de Bryson, dont se réclame l'inquiétant rapport de la C.I.A. Pour le savant américain, les « anomalies » climatiques apparues ces dernières années et qui ont fait l'objet de discussions dans le monde entier — au niveau le plus profane tout comme dans les cénacles les plus spécialisés — ne sont malheureusement pas si anormales qu'il y paraît à première vue. Leurs conséquences sur les récoltes agricoles, dans une période où la demande de denrées alimentaires va croissant, sont plus désastreuses que jamais et ren-

dent d'autant plus impérieuse la nécessité d'en saisir l'évolution dans les années et si possible, les décennies à venir.

Plutôt que des accidents, il faudrait y voir la marque d'un changement climatique par rapport aux dernières décennies écoulées, particulièrement celles qui vont des années 1930 aux années 1960, qui sont à la fois celles qui sont les mieux connues et celles qui ont vu les plus spectaculaires améliorations des rendements agricoles et des récoltes. Conscient que la recherche climatologique est encore incapable de fournir des modèles prévisionnels rigoureux, Bryson, en bon pragmatique, commence par interroger l'histoire dont, assure-t-il, il y a des leçons à tirer, notamment en ce qui concerne « la nature probable du climat à venir ».

« L'histoire de l'environnement, écrit-il, surtout si nous portons notre attention sur les dix mille dernières années, nous donnent des leçons non théoriques. Nous pouvons assurer, sans aucun doute, que ce qui est arrivé reste possible. Si nous combinons la connaissance de l'histoire climatique avec ce que nous savons des mécanismes du système atmosphérique terrestre, nous verrons apparaître certains modèles utilisables pour envisager le cours probable du climat futur. »

Les leçons de l'histoire climatique peuvent être ainsi résumées :

1. *Le climat n'est pas stabilisé.* A longue échelle de temps, il a évolué de l'ère glaciaire aux périodes de non glaciation, comme ce fut le cas pour les dix derniers milliers d'années. A l'échelle des siècles, on constate aussi des chan-

gements climatiques importants associés à des modifications écologiques.

2. *Le climat à tendance à se modifier rapidement et non graduellement.* Le passage d'une période de glaciation à une période de non glaciation, peut s'effectuer en moins d'un siècle, même si l'adaptation du monde vivant en exige beaucoup plus ; des changements climatiques de moindre amplitude mais néanmoins significatifs peuvent s'opérer en une décennie ou deux.

3. *Des changements culturels accompagnent habituellement des changements climatiques.* Les modifications climatiques relativement mineures des dix derniers millénaires ont suffisamment transformé les relations de l'homme avec son milieu pour provoquer d'importants bouleversements culturels.

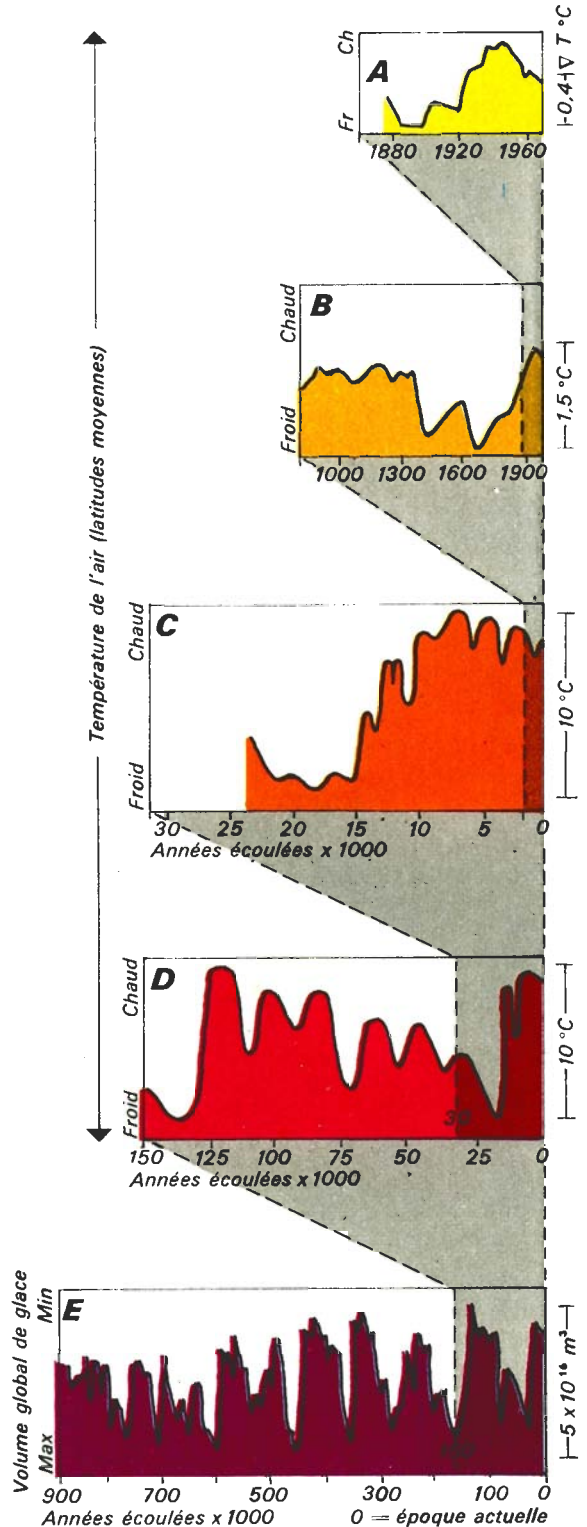
4. *Ce que nous considérons aujourd'hui comme un climat normal n'est pas normal dans une perspective longue.*

5. *Quand les hautes latitudes se refroidissent, les moussons tendent à disparaître.* Ce point est important car, depuis 30 ans, le climat des hautes latitudes se refroidit, et c'est dans les régions de moussons que vit la partie sous-alimentée de l'humanité.

6. *Les périodes froides de l'histoire terrestre sont des périodes de plus grande instabilité climatique.* Ces faits empiriquement constatés peuvent être rapprochés des mécanismes du climat, tels qu'on les comprend plus fondamentalement aujourd'hui. Ainsi l'on sait — même si cela semble une évidence il faut le rappeler — que le climat dépend de la circulation atmosphérique, qui est elle-même dépendante de l'énergie solaire. Tout provient en effet du déséquilibre de température entre les hautes latitudes et les zones tropicales, inégalement frappées par les rayons solaires, à cause de la courbure de la Terre. Ces différences de températures provoquent la circulation des masses atmosphériques qui, en interaction avec la répartition des continents et des océans, sont à l'origine des échanges énergétiques se traduisant notamment par la pluie, la neige, la sécheresse, les vents, le chaud ou le froid.

On sait maintenant que les variations de contraste de température entre les hautes et les basses latitudes, sont d'abord provoquées par les changements survenus dans les régions de haute latitude. Au cours des dernières décennies, on a effectivement constaté d'importantes modifications climatiques dans les régions arctiques et subarctiques. Certains spécialistes, comme G. et H. Kukla (cf. S. & V. n° 681 p. 87) proposent des modèles de circulation atmosphérique décrits en termes de physique qui mettent en étroite relation les variations de l'enneigement et de la glaciation au voisinage des pôles avec le régime des alizés et des moussons. Pour les Kukla, l'extension des surfaces enneigées et glacées constatée ces dernières années dans les hautes latitudes de l'hémisphère nord est à la fois un effet et une cause des transformations climati-

## LE RETOUR AU FROID: UNE



# PROBABILITÉ AVEC POUR COROLLAIRE, LA SÉCHERESSE

**L'évolution globale des températures depuis 900 000 ans.** L'idée d'un retour prochain à un âge glaciaire est sujet à caution et trouve son origine dans l'extrapolation des courbes de température portant sur les cent dernières années (courbe A). Cette courbe représente un agrandissement de la fin de la précédente (en bleu) et ainsi de suite de haut en bas. Quelle que soit l'échelle — siècles, milliers ou centaines de milliers d'années — on retrouve toujours cette amorce de brusque refroidissement après une longue période de chaud. Concernant notre époque, la chute de la courbe s'est amorcée plus précisément vers 1950. Si bien qu'entre 1880 et le milieu du siècle on pouvait encore espérer un léger réchauffement. On trouve en B le même genre de courbe, mais sur les 1 000 dernières années (Est de l'Europe). La courbe C indique la tendance générale de la température de l'air sur l'hémisphère Nord depuis 2 300 ans, grâce à l'étude des glaciers alpins. Même tendance générale sur 150 000 ans avec la courbe D, basée sur la température de surface et les variations de niveau de la mer. La courbe E exprime enfin les fluctuations du volume de glace au cours des 900 000 dernières années (températures basses et donc maximum de glace en bas du graphique). Si nous nous référons à cette dernière courbe, nous

ques. A ce double titre, elle mérite évidemment une attention particulière.

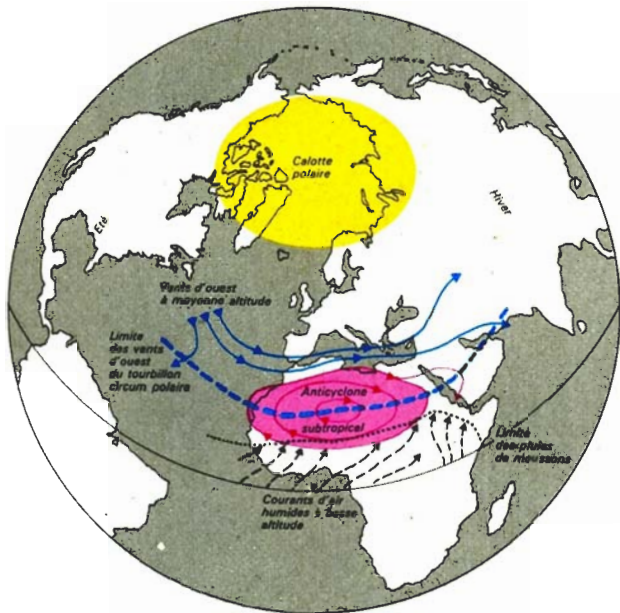
A la base de tout cela, il y a un phénomène physique fondamental : la surface de notre planète absorbe et réfléchit inégalement l'énergie qu'elle reçoit sous forme de radiations solaires selon la nature du sol. Une surface recouverte de végétation absorbe 80 à 85 % de la chaleur solaire et en réfléchit de 10 à 15 %. La surface de la mer calme en absorbe de 90 à 95 %. Par contre, une surface recouverte de neige ou de glace en réfléchit 80 % et n'en absorbe que 20 %. Comme l'atmosphère n'est pas chauffée directement par le passage des rayons solaires, mais par la chaleur accumulée dans le sol des continents ou l'eau des océans au-dessus desquels elle se trouve, les rayons réfléchis se perdent dans l'espace et entraînent un déficit dans la balance énergétique de la planète. La banquise, en outre, isole l'atmosphère de l'océan qui pourrait la réchauffer.

Neige et glace agissent encore d'une autre façon sur le climat en absorbant une énorme quantité de chaleur au moment de leur fonte (il faut 80 calories pour fondre 1 g de glace, alors que 100 calories suffisent à amener 1 g d'eau de 0° à 100°).

Les météorologistes ont défini quatre saisons en fonction des surfaces enneigées et glacées dans l'hémisphère nord. Ainsi, l'été est la période pendant laquelle neige et glaces recouvrent moins de 15 millions de km<sup>2</sup> et l'hiver, celle où elles en couvrent plus de 55 millions. Depuis une dizaine d'années, les observations par satellite permettent d'avoir une vue d'ensemble de la situation, de déceler ses modifications et d'en suivre l'évolution.

Ordinairement, semble-t-il, le printemps moyen de la terre dure 7 semaines de plus que l'automne, tandis qu'été et hiver ont sensiblement la même longueur. En 1970, quelque chose de surprenant se produisit : l'hiver ne dura que 35 jours (au lieu de 90) et le printemps fit son apparition exceptionnellement tôt. En 1971, changement brutal : l'automne démarra plus tôt et le printemps fut très tardif. C'est précisément en 1971 que le temps commença à se dérégler, provoquant la série de désastres agricoles que l'on sait dans l'hémisphère nord. L'année suivante, la température moyenne, spécialement en hiver, fut nettement inférieure à celle des années précédentes en Amérique du Nord, en Atlantique-nord et dans le bassin méditerranéen. En revanche, l'océan arctique européen connut des températures anormalement élevées, tandis que le centre et l'ouest de l'Europe étaient affectés par de longues périodes de sécheresse. Pendant ce temps, la Méditerranée et le Proche-Orient subissaient des pluies inhabituellement abondantes, de même que la côte pacifique de l'Amérique du Nord et la plus grande partie de l'Asie orientale.

Pour Kukla et Kukla, il y a une relation entre l'anormale couverture de neige et glace de 1971 et le dérèglement du temps en 1972. Et ils font



pouvons prévoir qu'elle va en effet redescendre, mais ce peut être dans 30 000 ou 100 000 ans... **Trop d'air froid : pas de mousson sur les tropiques.** En été la contraction de l'air froid circumpolaire attire normalement la ceinture d'anticyclones sub-tropicaux vers les zones tempérées (où il fait beau). En se retirant, ces anticyclones créent un appel d'air humide équatorial sur les tropiques ; c'est la mousson. Si les masses d'air froid se contractent moins que d'habitude, la mousson reste plus près de l'équateur : c'est la sécheresse sur les tropiques.

remarquer qu'il suffirait de sept années analogues à 1971 pour provoquer la venue d'une nouvelle ère glaciaire, en faisant passer la surface enneigée et glacée de 35 Mkm<sup>2</sup> (moyenne actuelle) à 60 ou 70 Mkm<sup>2</sup>. Cette éventualité, assurent-ils, n'est pas à écarter, car le processus, une fois amorcé, se réengendre lui-même, par un effet de « boule de neige », c'est le cas de le dire. La couverture atmosphérique de chaque hémisphère constitue un système dynamique dont on connaît les grandes lignes. Et l'on sait comment la contraction de la calotte d'air froid circumpolaire, en été, provoque le déplacement vers les latitudes plus élevées de la ceinture d'anticyclones tropicaux qui s'opposent aux précipitations dans les régions qu'ils recouvrent. En se retirant, ces anticyclones créent un appel d'air humide équatorial, c'est la mousson.

Quand les masses d'air froid circumpolaire continuent d'occuper même en été, une surface anormalement importante, les anticyclones subtropicaux et les zones arides qui leur sont associées se rapprochent de l'Equateur et la mousson pénètre moins profondément dans les continents. Des situations de ce type, rappelle Bryson, ont existé plusieurs fois au cours des derniers millénaires. Ainsi, comme l'a montré l'examen des débris végétaux au Canada et leur datation au Carbone 14, le front de la toundra descendit de 200 km vers le sud aux environs de l'an 1900 av. J.-C. Cette progression de la toundra au détriment de la forêt signale incontestablement un refroidissement arctique. Or, à la même période, l'archéologie révèle l'effondrement d'un grand empire situé au nord-ouest du sous-continent indien, là où s'étend aujourd'hui le Pakistan. Si les plus grandes villes de cet empire bordaient l'Indus, nombreuses étaient les cités qui florissaient dans ce qui constitue maintenant le désert de Rajputana. Il s'agissait d'un empire agricole, aux greniers abondants, qui commerçait avec Sumer. Après 1900 av. J.-C., les villes furent abandonnées, la terre laissée en friche. Certaines cités furent ensevelies sous les dunes de sable. Sept siècles plus tard, les nomades aryens plantaient leurs tentes dans ce qui n'était plus qu'un désert.

Ce n'était pas la première fois que cette région était transformée en désert. Tel était encore son aspect à la fin de la dernière ère glaciaire, qui s'acheva il y a 10 800 ans. Le recul de la calotte glaciaire arctique entraîna l'apparition des moussons, provoquant la montée de la nappe phréatique et la formation de lacs d'eau douce entre les dunes. Un millénaire après les premières moussons, le Rajputana commençait à être cultivé. Il y a 5000 ans, il constituait un ensemble remarquablement fertile. Mais quand les pluies commencèrent à décroître, il y a 4000 ans, les lacs d'eau douce devinrent de plus en plus salés puis s'asséchèrent au fur et à mesure que la nappe phréatique s'enfonçait dans le sous-sol, et la civilisation de l'Indus disparut. Cette succession d'événements est scientifiquement établie, grâce à l'analyse des sédiments lacustres dans les cou-

ches desquels on identifie les traces de pollens qui renseignent avec exactitude sur la nature de la végétation environnante. La disparition des moussons, à cette époque, ne se fit pas seulement sentir en Inde, mais aussi dans le Sahel. Tout comme aujourd'hui.

Cet exemple choisi par Bryson parmi d'autres, établit clairement la relation climatique qui existe entre la calotte polaire et les régions tropicales. Que se passe-t-il aujourd'hui pour cet auteur ? Depuis le début du XVII<sup>e</sup> siècle, jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup>, les régions subarctiques ont été très froides. D'où le déclin de la population islandaise réduite par les famines continues, les hivers rigoureux en Europe et les mauvaises récoltes qui s'en suivirent. Au début du XX<sup>e</sup> siècle, la température moyenne des hautes latitudes commença à monter, spécialement dans l'Atlantique nord. Les moussons se firent plus abondantes et régulières en Inde, les hivers européens devinrent moins rigoureux tandis que les gelées d'été disparurent du nord des Etats-Unis.

### **L'histoire se répète**

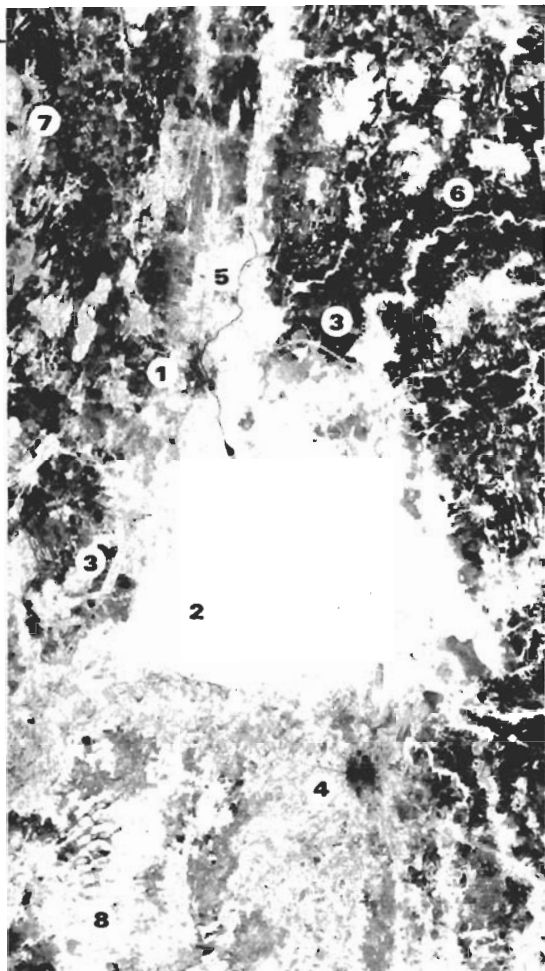
Cette amélioration du climat, assure Bryson, a cessé à peu près en 1945. Et depuis cette date, on retourne à un climat analogue à celui des années 1600 à 1900.

Ainsi, la température moyenne de l'hémisphère nord est retombée de presque autant qu'elle était montée ;

- la température moyenne de l'Islande est redescendue à son niveau antérieur ;
- depuis 1951, la température à la surface de tout l'Atlantique-nord s'est rapprochée d'un huitième de la température de l'ère glaciaire et le Gulf Stream s'est déplacé vers le sud ;
- la saison de végétation, en Angleterre, a diminué de deux semaines ;
- la fréquence des sécheresses dans le nord-ouest de l'Inde a commencé à croître ;
- la mousson s'est graduellement retirée vers l'Equateur en Afrique occidentale, provoquant sept années de famine consécutives ;
- les gelées d'été ont refait leur apparition dans le nord du midwest américain ;
- les moussons se sont retirées au sud du Japon ;
- les régions arctiques canadiennes connaissent des conditions de glaciation bien plus sévères que dans les décennies passées ;
- la couverture de neige et de glaces de l'hémisphère nord a brutalement augmenté de 13 % au cours de l'hiver 1971-1972 et se maintient à son niveau le plus élevé ;
- la taille de la masse atmosphérique froide circumpolaire s'est agrandie et la latitude des anticyclones subtropicaux a décliné.

« Les leçons de l'histoire, en conclut Bryson, sont en train de se répéter. »

Que faut-il attendre de l'avenir ? Il est bien clair, pour emprunter à Bryson une de ses propositions, que ce qui s'est passé une fois peut se reproduire. Ainsi, l'idée que le climat de l'hémisphère nord entre dans une phase de re-



NASA-ERTS

**Comment la C.I.A. s'informe des pénuries agricoles du monde.** La prévision et le contrôle des récoltes, soumises aux aléas climatiques au fil des saisons est une nécessité économique de tout premier ordre sur le plan mondial. Les Etats-Unis l'ont bien compris, et mènent, dans le cadre du programme Landsat des expériences d'évaluation des richesses agricoles mondiales. Les photographies du premier satellite ERTS d'évaluation des ressources terrestres permettent de se faire une idée des informations que les américains peuvent obtenir en survolant le territoire des autres. La photo ERTS ci-dessus a été prise le 23 mars 1973 alors que le Soleil se trouvait à 31° au-dessus de l'horizon de la région agricole et industrielle de la vieille ville russe de Novgorod (1). Au centre du document, le lac Ilmen est encore gelé (2). On distingue parfaitement sur ce document l'infrastructure industrielle : des lignes de chemin de fer et des routes (3), la ville de Staraya Roussia (4), la rivière Volkhov (5) libre des glaces alors que la rivière Msta est encore gelée (6), et une zone d'exploitation de la tourbe (7). Les champs (8) sont encore recouverts de neige et apparaissent en blanc. Une succession de photographies de la même région, ce que permet de faire le satellite, montre par exemple la durée de la période neigeuse, ou encore d'évaluer l'importance des chutes de pluies et d'en déduire leurs effets sur la productivité des récoltes. D'où la possibilité de réaliser des prévisions économiques utiles sur le plan politique. □

froidissement n'a rien d'inacceptable. Cette hypothèse acceptée, qu'elles doivent en être les conséquences.

Les vues du savant américain, à ce sujet, ne sont pas très optimistes. C'est que, explique-t-il, depuis le dernier refroidissement (1600-1900), la population mondiale a été multipliée par deux et par davantage dans les pays de mousson. Et au fur et à mesure que le monde est plus peuplé, la mobilité des populations décroît : plus question de faire émigrer un million d'Irlandais pour échapper à la famine. Un déplacement massif de peuples nomades à la recherche de pâturages plus verts entraînerait inmanquablement des bains de sang s'ils venaient à franchir une frontière... Par ailleurs, après le spectaculaire bond en avant des récoltes agricoles dû à la « révolution verte », jamais les réserves alimentaires n'ont été aussi faibles dans le monde. En 1972, survenait une série de mauvaises récoltes dues aux conditions climatiques. La mousson indienne avait été faible, celle de l'Afrique occidentale avait disparu, la Russie avait subi une grave sécheresse et les quatre pays avaient tous connu des rendements médiocres par rapport aux années précédentes. En 1973, les choses ont paru s'améliorer mais 1974 fut une mauvaise année. 1975 n'a pas redressé la situation et il ne faut sans doute pas compter sur 1976 pour inverser la tendance.

Le professeur américain n'est pas le seul à s'inquiéter pour l'avenir. En 1974, les participants d'un congrès scientifique sur l'impact de l'homme sur les changements du climat, réuni à Bonn par l'International Federation of Institutes for Advanced Study, publiait une déclaration qui se terminait ainsi : « Un certain équilibre climatique mondial, généralement considéré comme normal, a prévalu pendant la vie de la plupart de ceux qui composent aujourd'hui la population de la Terre. Pendant cette période, la population mondiale a plus que doublé, les demandes de ressources ont augmenté, les terres facilement cultivables ont été occupées et les obstacles aux migrations se sont renforcés. « Les travaux de nombreux scientifiques sur les changements climatiques attestent qu'un nouveau climat global est en train d'émerger. On s'accorde de plus en plus à estimer que cette évolution se poursuivra au cours des prochaines décennies, et que les systèmes ordinaires de production alimentaire de l'homme ne pourront pas s'y adapter facilement. On s'attend aussi à ce que le climat devienne plus instable que dans les dernières décennies.

« Nous croyons que ce changement climatique constitue une menace pour les peuples du monde. L'orientation de ce changement climatique fait prévoir des récoltes désastreuses avant la fin de cette décennie. Ce fait coïncidant avec une période de réserves de céréales presque inexistantes, ne peut être ignoré qu'au risque de grandes misères et de famines massives.

« Nous demandons instamment aux nations, individuellement et collectivement, de prévoir

## L'ACTIVITÉ HUMAINE MODIFIE LE CLIMAT

■ La transparence de l'atmosphère n'est pas constante : elle varie avec le temps, modulant ainsi la quantité d'énergie solaire reçue à la surface de la terre et dans la basse atmosphère. Mais ces modifications de transparence concernent surtout la météorologie et doivent être regardées comme des effets de climat. Elles n'intéressent donc pas le climatologue qui se préoccupe, au contraire, des modifications qui ont des causes externes : l'addition de particules de matière à l'atmosphère, en particulier.

En dehors de toute activité humaine, l'atmosphère contient une certaine quantité de particules, émises par l'activité volcanique, arrachées au sol par l'érosion éolienne ou en provenance des mers et des forêts sous forme d'aérosols.

De tous ces phénomènes naturels, c'est l'activité volcanique qui a le plus fort impact sur l'équilibre climatique, comme l'ont montré sans discussion de nombreux travaux. Ainsi, on a pu mettre en évidence une corrélation au cours des derniers 100 000 ans, entre l'épaisseur des glaces arctiques et la quantité de poussières volcaniques tombées sur ces mêmes glaces. Et à courte échelle de temps, les mesures directes du rayonnement solaire au sol par ciel clair, effectuées au cours de ce siècle, montrent un maximum de transparence de 1920 à 1930, période de calme volcanique.

Il faut cependant noter que la transparence et la température moyenne atmosphériques dans l'hémisphère nord ont commencé à décroître avant la reprise de l'activité volcanique, dans les années 1950 et 1960. On peut en déduire qu'une autre source de particules a commencé à faire sentir ses effets à partir des années 1940.

Cette source, à n'en pas douter, c'est l'activité humaine. Si l'on considère l'industrialisation et la mécanisation du monde comme des facteurs d'émission de particules dans l'atmosphère, on doit constater un accroissement presque exponentiel des particules de cette provenance à partir de 1935 (Bryson). C'est exactement ce que vérifient les retombées de plomb — d'origine industrielle — sur les glaces du Groenland et les poussières recueillies sur les champs de neige du Caucase — résultat de l'érosion aggravée par la mécanisation de l'agriculture.

A combien peut-on chiffrer les quantités de particules rejetées dans l'atmosphère par l'activité volcanique et par l'activité humaine ?

L'activité volcanique est extrêmement variable : des volcans au summum de leur activité, comme la Krakatoa en 1883, émettent des dizaines de millions de tonnes de poussières en un temps très court. En moyenne, on a calculé (Peterson et Junge) que

la troposphère et la stratosphère avaient reçu  $4 \times 10^6$  tonnes de poussières volcaniques au cours de chacune des 120 dernières années, mais avec une irrégularité dans le temps qui est à l'origine de modifications climatiques. Au contraire de l'activité volcanique qui est sporadique, l'activité humaine et les rejets qu'elle provoque dans l'atmosphère connaissent une progression constante.

Là encore on a tenté de chiffrer les quantités de polluants rejetés dans l'atmosphère. Il s'agit de quantités énormes :  $296 \times 10^6$  tonnes annuelles (Robinson et Robbins), auxquelles il faut ajouter d'après Bryson, 40 à  $60 \times 10^6$  tonnes de fumées provoquées par les cultures sur brûlis et 100 à  $250 \times 10^6$  tonnes de poussières arrachées au sol par l'érosion due à l'agriculture et à la construction. Au total, de 440 à  $600 \times 10^6$  tonnes : de cent à cent cinquante fois plus que les quantités émises par l'activité volcanique !

Bien entendu, ces particules ne demeurent pas indéfiniment en suspension dans l'atmosphère. Des calculs permettent d'estimer que 2 à 4 % du total, soit 8 à  $24 \times 10^6$  tonnes (Bryson) des poussières dues à l'activité humaine, sont en permanence en suspension dans les airs. Or, on a pu montrer (Barrett) qu'une élévation de  $2 \times 10^6$  tonnes de la masse des poussières atmosphériques est capable de faire baisser la température moyenne de 0,4 °C. La partie de l'énergie solaire qui n'est pas réfléchiée par l'atmosphère (65 %) est absorbée par la surface de la terre (47 %) ou par l'atmosphère (18 %). Pour que le climat reste constant, il faut que la totalité de cette énergie soit évacuée hors du système terre-atmosphère sous forme de radiations infrarouges.

La transparence de l'atmosphère aux infrarouges dépend de la proportion de vapeur d'eau et de gaz carbonique qu'elle contient. Si la quantité de vapeur d'eau est une variable climatique, la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique dépend de causes extérieures, dont la principale est la combustion des carburants fossiles. Il y a quelques années, la concentration moyenne de CO<sub>2</sub> était de 320 ppm, et elle augmentait de 1 ppm par an au moins. On considère qu'à qu'à une augmentation de 1 ppm, correspond une élévation de température de 0,01 °C. En passant de 290 ppm, du siècle dernier, à 320 ppm environ aujourd'hui, l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique aurait dû se traduire par une élévation de température moyenne de 0,25 °C. Il n'en a rien été, ce qui signifie seulement que cette augmentation a été compensée — et au-delà — par les facteurs de refroidissement. On peut aussi en conclure que celui-ci, sans l'utilisation massive des sources d'énergie fossile, aurait été encore plus important. □

une action pour se donner les moyens techniques sociaux et politiques de faire face à ce défi à la paix et au bien-être. Notre sentiment est que la nécessité est grande et le temps bien court.»

Le tableau ainsi brossé est inquiétant, il est vrai. Pourtant, on ne partage pas toujours, dans les milieux scientifiques concernés, le sombre prophétisme des tenants d'une proche glaciation. Ainsi, sans méconnaître la gravité des problèmes climatiques, l'Organisation météorologi-

que mondiale (O.M.M.) se refuse-t-elle à suivre les conclusions de Bryson sans parler de celles de la C.I.A., comme il ressort très clairement du document que nous publions en encadré.

En France, on se montre ces temps-ci beaucoup plus préoccupé de la sécheresse et de ses conséquences immédiates — cela se comprend — que des hypothétiques conséquences à long terme d'une possible transformation du climat de l'hémisphère nord.

(suite du texte page 138)



(suite de la page 20)

Les chercheurs de la station de bioclimatologie de l'Institut national de la recherche agronomique à Versailles, cependant, ne négligent pas ces problèmes d'évolution climatique.

« On ne peut ni en écarter l'hypothèse, ni refuser d'en examiner les conséquences », estime M. Chartier.

« En ce qui concerne l'agriculture française, par exemple, on peut très bien imaginer ce qu'entraînerait un refroidissement moyen de 1 à 2 °C, estime M. Chartier. Des écarts annuels de cette amplitude nous ont renseigné là-dessus. »

Il faut en effet noter que les phénomènes climatiques se présentent un peu comme des phénomènes ondulatoires de périodes et d'amplitudes diverses. Les phénomènes de longue période, comme précisément les évolutions à long terme qui s'évaluent en millénaires ou en dizaines de millénaires, sont fréquemment masqués par des phénomènes de période plus courte — de l'ordre du siècle ou de la décennie — mais d'amplitude plus forte. Les variations annuelles peuvent, elles aussi, être à l'origine d'écarts très importants, ce qui rend difficile la mise en évidence des tendances profondes. L'intérêt de ces écarts importants, intervenant sur de courtes durées, est qu'ils permettent d'étudier, comme en laboratoire, les conséquences d'une évolution climatique. L'année 1972, par exemple, au cours de laquelle la moyenne de température a été inférieure de 1,5 °C aux moyennes annuelles enregistrées de 1928 à 1970 (12,5 °C au lieu de 14 °C) a connu des rendements agricoles inférieurs de 15 à 20 % à la normale, c'est-à-dire au rendement escompté en fonction des variétés semées et de la technologie mise en œuvre.

On exprime également la somme des températures moyennes journalières d'une année, en « degrés-jours » (N°J), ce qui permet de savoir si une plante a bénéficié ou non des conditions optimales à sa croissance : chaque variété, en effet, peut être caractérisée par le nombre de degrés-jours qui correspond à l'accomplissement de son cycle physiologique, depuis le semis jusqu'à la récolte, c'est-à-dire sa période de végétation (growing season en anglais). Si la somme des températures est inférieure au chiffre théorique, la plante ne parvient pas à maturité. Dans le cas contraire, si cette somme est supérieure au chiffre idéal — lors des sécheresses, par exemple — la croissance de la plante peut être gravement perturbée. (On comptait pour 1972, 1532 °J au lieu d'une moyenne de 1793 °J.)

« Dans un pays suffisamment équipé, on peut penser que, l'effet de surprise passé, on parviendrait assez rapidement à obtenir les rendements souhaités » Un écart de 2 °C en moins — celui qui nous sépare d'une ère de glaciation — c'est

## DÉCLARATION DE L'OMM SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

**1** En dépit des progrès remarquables accomplis dans le domaine de la technique, le bien-être économique et social de l'homme dépend dans une très large mesure du climat. La production alimentaire, en particulier, est fortement influencée par les variations du climat, comme l'a prouvé la diminution des réserves mondiales de blé au cours des dernières années. Cette dépendance envers le climat revêt une importance d'autant plus grande en fonction de la demande d'une population en expansion. Mais, ce n'est pas seulement dans le domaine de la production alimentaire que l'homme dépend du climat. Les inondations, la sécheresse et les températures extrêmes perturbent gravement les communautés urbaines, compromettent les activités agricoles, industrielles et commerciales et freinent le développement économique et social.

**2** On a pu déduire, de diverses sources directes et indirectes, de multiples indications sur les conditions climatiques de la Terre au cours des décennies, des siècles, des millénaires et des ères géologiques passés. Ces indications montrent clairement que les conditions climatiques présentent des variations de diverses durées. On peut donc supposer que cette évolution constante du climat, due à des causes naturelles, continuera dans l'avenir. Cependant, l'évolution à long terme du climat mondial est masquée par des fluctuations de plus courte durée ainsi que par des modifications d'échelle régionale ; des conditions exceptionnelles d'humidité ou de chaleur dans une région s'accompagnent souvent de conditions inhabituelles de sécheresse ou de froid dans une autre.

**3** L'apparition, au cours des dernières années, dans certaines régions, de conditions climatiques exceptionnelles se prolongeant pendant quelques semaines, quelques mois, voire quelques années — telles que des pluies excessives, des sécheresses ou des températures anormalement basses ou élevées — nous amène à penser qu'il se produit actuellement, à l'échelle du globe, un changement climatique important, qui pourrait impliquer le retour vers l'un ou l'autre des types de climats très différents qui ont régné dans le passé. Un tel changement à l'échelle du globe peut avoir des causes naturelles, et s'amorcera très vraisemblablement de façon progressive, voire quasi-imperceptible. La raison en est que

ce qu'il fallait gagner lorsqu'on décida d'adapter le maïs qui ne poussait, jusque dans les années 50, qu'au sud de Bordeaux (température moyenne : 17 °C), à la région parisienne (t : 15 °C). Aujourd'hui, grâce à peu près exclusivement à la sélection génétique des plants, le maïs connaît ses plus forts rendements dans la partie septentrionale de la France. Ce ne sera cependant pas le cas cette année, car le maïs culture de prin-

les fluctuations de plus courte durée risquent d'avoir une ampleur telle que les évolutions à long terme pourront passer inaperçues. Ce sont donc ces fluctuations climatiques à court terme, qu'elles aient une origine naturelle ou qu'elles résultent d'activités de l'homme, qu'il est urgent d'étudier plus avant.

**4** La variabilité naturelle à court terme du climat revêt une importance croissante à mesure que l'on puise davantage dans des ressources naturelles déjà limitées. Cette variabilité a été mise en évidence par les sécheresses catastrophiques et les autres conditions météorologiques exceptionnelles qui ont sévi dans de nombreuses régions du globe, entraînant de graves souffrances et compromettant sérieusement le développement économique des pays touchés. C'est aux changements dus à cette variabilité que les gouvernements des pays intéressés doivent s'efforcer de faire face, à condition d'en être avertis suffisamment à l'avance.

**5** La possibilité d'un changement du climat sous l'effet des activités de l'homme est pour le moins aussi préoccupante. La combustion de pétrole et de charbon augmente la quantité de gaz carbonique présente dans l'atmosphère, ce qui peut amener à long terme un réchauffement de l'atmosphère et causer d'amples fluctuations dans la distribution des précipitations. La pénétration dans l'atmosphère de constituants chimiques (tels les chlorofluorométhane) et l'augmentation du taux de concentration de poussières résultant d'activités humaines pourraient, si elles ne font pas l'objet d'un certain contrôle, modifier sensiblement le climat. On a déjà pu constater, sous l'effet d'émissions directes de chaleur dans des zones urbaines et industrielles, certaines modifications du climat local, qui pourraient s'étendre à des zones plus vastes si ces émissions augmentaient. Toutefois, dans l'état actuel des connaissances du comportement de l'atmosphère, il n'est pas possible d'évaluer avec précision quelle sera l'ampleur de ces changements.

**6** Sachant combien il est important et urgent de résoudre les problèmes qui se posent dans ce domaine, des météorologistes et d'autres spécialistes ont entrepris d'améliorer la qualité et le nombre des données dont on dispose sur le comportement passé des processus de l'atmosphère et des océans, ainsi que d'autres facteurs météorologiques. Ils s'efforcent aussi d'améliorer le système mis en place pour surveiller l'évolution actuelle du climat et les modifications de notre environnement, afin de déterminer le rôle respectif des processus naturels et des activités de l'homme. Enfin, ils s'efforcent de déterminer quelles sont

les recherches requises pour mieux comprendre les processus climatiques et évaluer l'effet de la variabilité du climat sur le milieu naturel et les activités de l'homme.

**7** Vu l'importance croissante que prennent pour de nombreuses activités humaines les variations de plus courte durée, qui caractérisent le climat, il conviendrait de faire davantage usage, dans la planification du développement économique et social, des connaissances acquises en matière de variabilité du climat, par exemple, une évaluation des probabilités de chutes de pluie dans des marges données peut permettre de se prononcer sur la viabilité de projets agricoles et hydrologiques dont l'exécution est envisagée. Si les résultats de nouvelles recherches entreprises par les météorologistes et d'autres hommes de science montraient que les activités de l'homme peuvent entraîner des changements climatiques ayant des conséquences graves pour l'humanité, les personnes chargées de prendre des décisions dans les sphères politiques et économiques se trouveraient confrontées aux nouveaux problèmes décrits au paragraphe 5. La poursuite des recherches sur les changements climatiques revêt donc une importance primordiale.

En résumé, la position actuelle de l'OMM en ce qui concerne les changements climatiques et leur étude est la suivante :

**a** S'il faut s'attendre, à long terme, au passage naturel à un régime climatique différent, il est peu probable qu'une telle évolution soit rapidement perceptible, car elle serait masquée par la forte variabilité climatique qui se manifeste à plus court terme ;

**b** Il est urgent de se préoccuper des changements climatiques à court terme, résultant de causes naturelles ou, éventuellement, d'activités humaines, en raison des graves répercussions qu'ils peuvent exercer sur le bien-être de l'homme et sur le développement économique ;

**c** Il est nécessaire de mieux connaître et de pouvoir mieux prédire les incidences des activités de l'homme sur le climat du globe, étant donné les conséquences qui peuvent en découler ;

**d** Il importe d'améliorer les possibilités de prévoir les changements climatiques naturels à court terme, de façon que les gouvernements puissent arrêter les mesures à prendre pour y faire face ;

**e** Bien qu'elle soit encore limitée, notre connaissance actuelle de la variabilité naturelle à court terme du climat devrait être davantage mise à profit pour la planification du développement économique et social. □

temps et d'été, est particulièrement sensible à la sécheresse.

« Si notre pays devait être affecté par des modifications climatiques, estime M. Chartier, c'est la sécheresse ou l'excès d'eau, beaucoup plus que le froid, que nous devrions redouter. »

Il semble en effet beaucoup plus facile de se prémunir contre les effets du refroidissement, grâce à la sélection génétique et aux hybrida-

tions, que contre la sécheresse ou l'excès d'humidité qui altèrent profondément les mécanismes physiologiques de la croissance végétale. Ainsi, alors que le maïs, comme la pomme de terre ou la betterave à sucre, est affecté par la sécheresse estivale, le blé ressent surtout les effets d'un excès d'humidité hivernale.

Ni l'une ni l'autre de ces « anomalies » n'est plus aujourd'hui à écarter comme peu probable.

(suite page 144)

## LE CLIMAT

(suite de la page 139)

A supposer que, grâce à leur technologie et à leurs capitaux, les pays industrialisés réussissent à faire face aux situations nouvelles, il n'y a guère de doute que cette fois encore, les pays les moins favorisés économiquement seront les plus touchés.

Ils le seront, parce que, pour beaucoup d'entre eux, ils sont géographiquement situés dans les régions qui risquent d'être le plus affectées par les modifications climatiques, c'est-à-dire les régions subtropicales : zone des Caraïbes, Afrique noire, proche du Sahara, sous continent indien, Sud-Est asiatique. Ils le seront parce que ces pays, moins avancés techniquement et moins riches en capitaux, n'auront ni les moyens techniques, ni les moyens financiers de fournir les efforts supplémentaires rendus nécessaires. Et ils seront les plus affectés enfin parce que c'est dans ces pays que la croissance démographique entraîne le plus fort besoin d'un accroissement de ressources alimentaires.

Les pays déjà fortement industrialisés ne s'en tireront cependant pas à si bon compte. Il n'est guère d'économie nationale qui puisse supporter sans graves conséquences la surcharge qu'occasionnerait une transformation voire une mutation de son agriculture, comme l'exigerait une altération climatique de grande envergure. Imagine-t-on ce que signifierait l'abandon du maïs ou — pis encore — celui de la viticulture dans la moitié méridionale de la France ? Même les Etats-Unis pourraient être sévèrement touchés, contrairement à ce que laisse croire le rapport de la C.I.A. puisque ainsi que l'a montré Bryson, leurs meilleures terres à blé n'étaient, au sortir de la dernière glaciation, que zones semi-désertiques.

Enfin, il faut songer que rien ne pourrait davantage entraver la réalisation des projets que caressent les pays industrialisés pour pallier la pénurie des ressources énergétiques qu'un refroidissement du climat global.

Non seulement, en effet, celui-ci aurait pour résultat d'augmenter les besoins en énergie, mais il ruinerait en partie les espoirs que l'on fonde actuellement sur l'agriculture pour procurer de nouvelles sources d'énergie et de matières premières.

L'abondance des ressources en charbon puis en pétrole l'avait fait oublier, mais la matière végétale peut constituer une importante source d'énergie et de produits chimiques. La « chimie », chimie utilisant les produits végétaux comme matière première, connaît un regain d'intérêt au point que les industriels, tant en Europe qu'aux Etats-Unis, investissent des millions de dollars en recherche pour perfectionner les technologies de traitement de la matière végétale.

L'exemple suivant fera comprendre l'importance de l'enjeu. Des études ont montré qu'une  
(suite page 150)

## LE CLIMAT

(suite de la page 144)

unité d'hydrolyse capable de traiter 200 000 tonnes de paille par an (c'est la taille d'une papeterie moyenne) produirait 50 000 tonnes d'alcool pur, 20 000 tonnes de furfural, 10 000 tonnes de levures et ne consommerait ni fuel ni électricité puisqu'on y brûlerait les 50 000 tonnes de lignine contenues dans la paille traitée.

Malgré un rendement en produits chimiques beaucoup plus faible que celui de la pétrochimie, une telle unité permettrait d'économiser 100 000 tonnes de pétrole par an (que celui-ci soit comptabilisé comme source de carbone et d'hydrogène ou comme énergie nécessaire à la synthèse chimique).

L'alcool ouvre la voie à la synthèse des dérivés acétiques ou éthyléniques ainsi qu'à divers produits utilisés comme solvants, monomères de résines ou de polymères, plastifiants, etc. Le furfural peut être précurseur de polyamides et ouvrir la voie à la synthèse de l'anhydride maléique. Enfin, le craquage de la lignine permettrait d'extraire des phénols.

Cette chimie qui n'a rien d'utopique car les principaux processus en sont parfaitement connus et demandent seulement certaines améliorations technologiques, présente deux avantages fondamentaux : le renouvellement rapide des ressources (l'exploitation de 10 millions de tonnes de paille, un tiers de la production française annuelle, équivaldrait à un gisement inépuisable produisant 5 millions de tonnes de pétrole par an). L'autre avantage de cette chimie c'est qu'elle offre une utilisation intéressante de l'énergie solaire par l'intermédiaire de la photosynthèse. Grâce à ces deux avantages, on estime de plus en plus que l'agriculture, à condition d'être convenablement orientée vers la production massive de nouvelles variétés, aussi bien sur terre que sur mer, pourrait jouer un grand rôle dans la satisfaction des besoins industriels du siècle prochain.

De telles perspectives ne comptent malheureusement pas avec l'éventualité d'un bouleversement du climat.

Mais peut-être, comme le soutiennent encore certains climatologues, notre climat n'est-il pas en train de se refroidir. Peut-être ne s'agit-il que de fluctuations passagères. Ce qui est certain en tout cas, c'est que la stabilité climatique ne doit plus être considérée comme une donnée immuable. Il faut savoir désormais que l'activité humaine s'inscrit dans un paysage mouvant, instable même. L'écologie nous l'avait appris. La climatologie le confirme.

**Jean-Pierre SERGENT ■**

(1) Etude de la recherche climatologique en rapport avec les problèmes de renseignement.

(2) La C.I.A. avait déjà procédé de manière analogue en publiant à la veille de la conférence de la F.A.O. à Rome en 1975 un rapport alarmant et menaçant sur la situation agricole mondiale.