

# reperes

Attention

img a traiter en Bichro

# Ce qu'on sait de l'effet de serre

## L'effet de serre est naturel et vital...

■ L'atmosphère terrestre agit comme un filtre qui laisse passer certains rayons lumineux du soleil et retient assez de chaleur pour assurer à la Terre une température propice à la vie. Certains gaz présents en faible

quantité dans la basse atmosphère (moins de 10 kilomètres) ont la capacité d'absorber une partie du rayonnement solaire réfléchi par la Terre : la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), le méthane ( $\text{CH}_4$ ),

l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), l'ozone troposphérique (à ne pas confondre avec l'ozone atmosphérique, celui de la couche d'ozone). Sans cet effet de serre, la température moyenne à la surface du

globe serait de  $-18^\circ\text{C}$  et non de  $15^\circ\text{C}$  comme elle l'est actuellement. Décrit pour la première fois en 1827 par J. B. Fourier, le phénomène du réchauffement climatique par effet de serre a été analysé dès 1895

par le chimiste suédois S. Arrhénius. Il suggérait que les émissions de  $\text{CO}_2$ , en renforçant l'effet de serre, pourraient entraîner une hausse de la température moyenne de la Terre.

## ... mais son intensification est dangereuse

■ Depuis le début de l'ère industrielle, vers 1830, l'exploitation de combustibles fossiles, la modification de l'usage des sols (déforestation

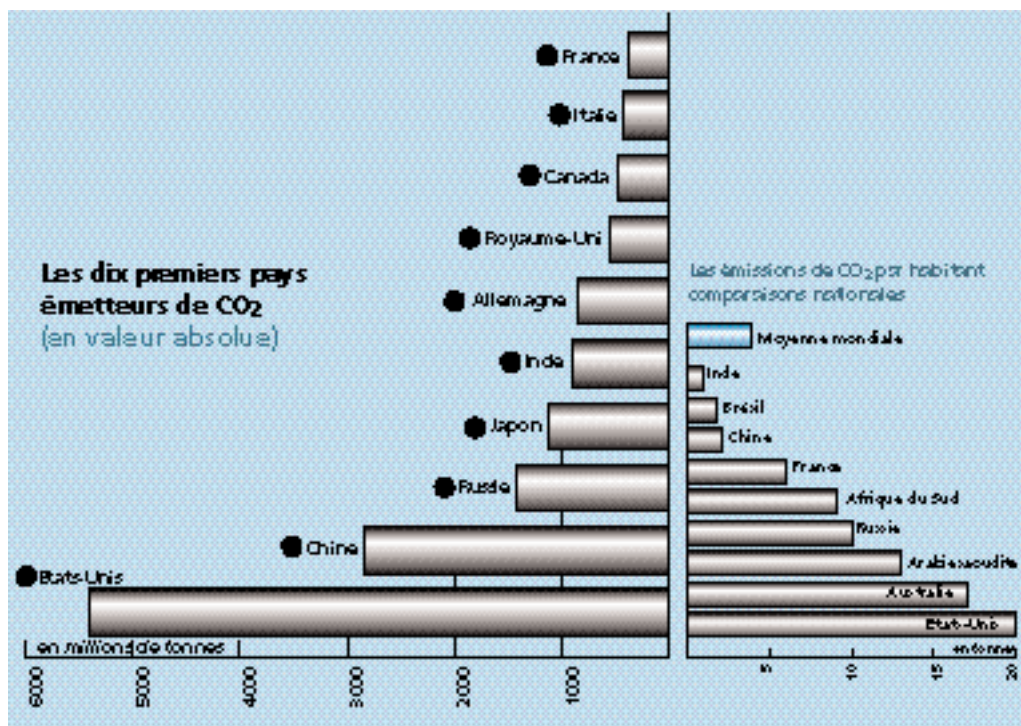
notamment) et les nouvelles pratiques agricoles (irrigation, engrais) ont provoqué une hausse de la concentration des gaz à effet de serre dans

l'atmosphère. Des gaz jusqu'alors absents de l'atmosphère sont apparus, comme les chlorofluorocarbures (CFC). L'augmentation de ces concen-

trations est d'autant plus inquiétante que les gaz à effet de serre se répandent très vite dans l'atmosphère et que certains ont une durée de

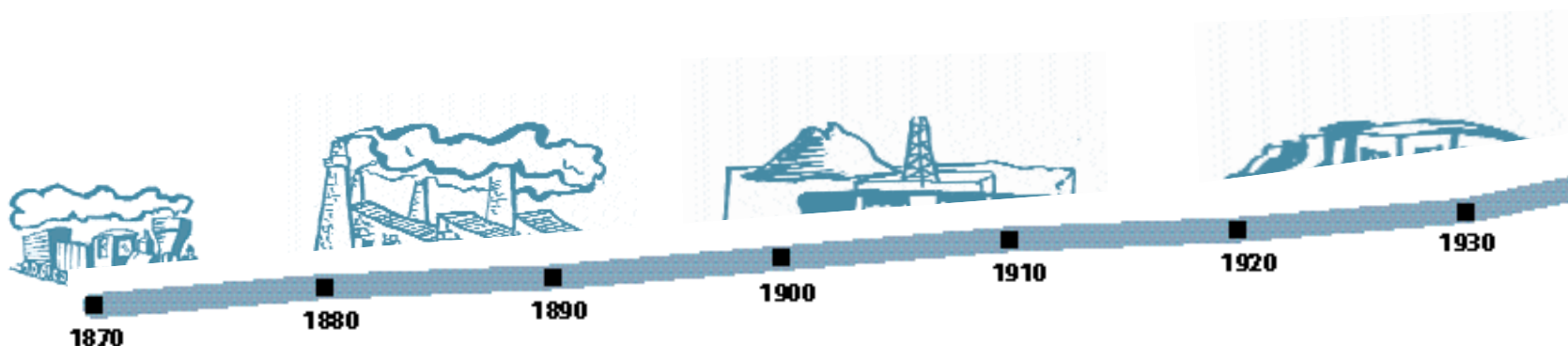
vie très longue. La réduction des émissions ne peut donc pas avoir d'effet rapide sur la concentration globale.

## Les aérosols : quel contrepois ?

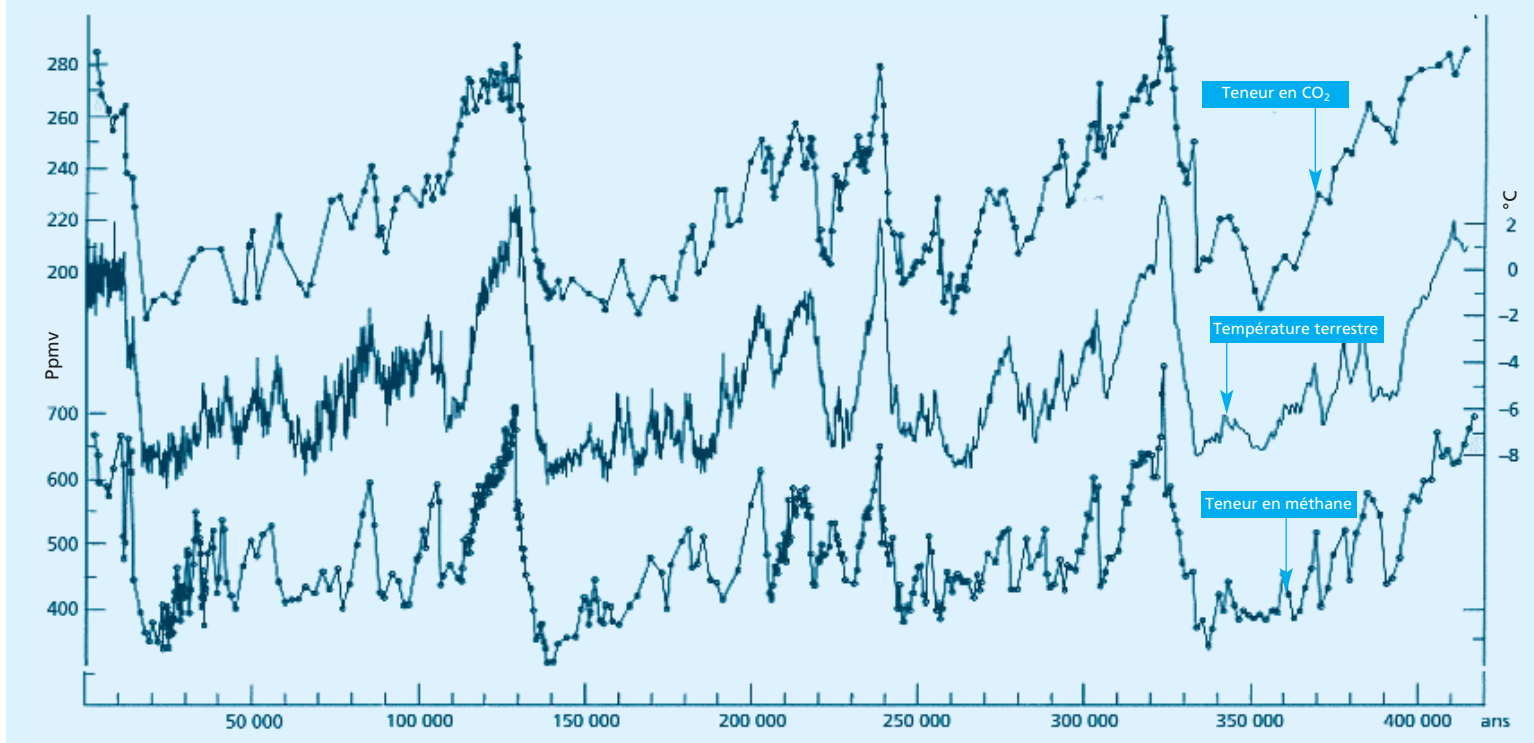


■ Les aérosols ont alimenté les polémiques climatiques. Ce sont des particules solides, minérales ou organiques, en suspension dans l'air, qui absorbent ou renvoient une partie des rayonnements solaires et participent à la formation des nuages. La première source d'aérosols est l'érosion éolienne des déserts. Puis les aérosols carbonés, produits par les feux de forêts. Ensuite, les aérosols soufrés, émis lors des éruptions volcaniques. Enfin, il faut ajouter les aérosols sulfatés, en augmentation depuis l'ère industrielle, émis par les usines et les voitures, et les aérosols métalliques, également d'ori-

gine anthropique. L'action refroidissante des aérosols n'intervient que le jour et se fait surtout sentir dans l'hémisphère Nord, où sont émis la grande majorité des aérosols soufrés d'origine humaine. L'intervention des aérosols pourrait expliquer que le climat réel réagisse moins vite au renforcement de l'effet de serre que les climats de synthèse simulés par ordinateur. A l'avenir, la lutte contre la pollution atmosphérique de proximité pourrait aboutir à une baisse sensible des émissions d'aérosols soufrés dans les pays du Nord, et donc à une diminution de leur capacité à contrer l'effet de serre.



**Corrélation entre les gaz à effet de serre et la température.** Les études des carottes glaciaires de l'Antarctique font apparaître au cours des 400 000 dernières années une étroite corrélation entre la teneur atmosphérique en dioxyde de carbone et en méthane et la température enregistrée à la surface de la Terre.



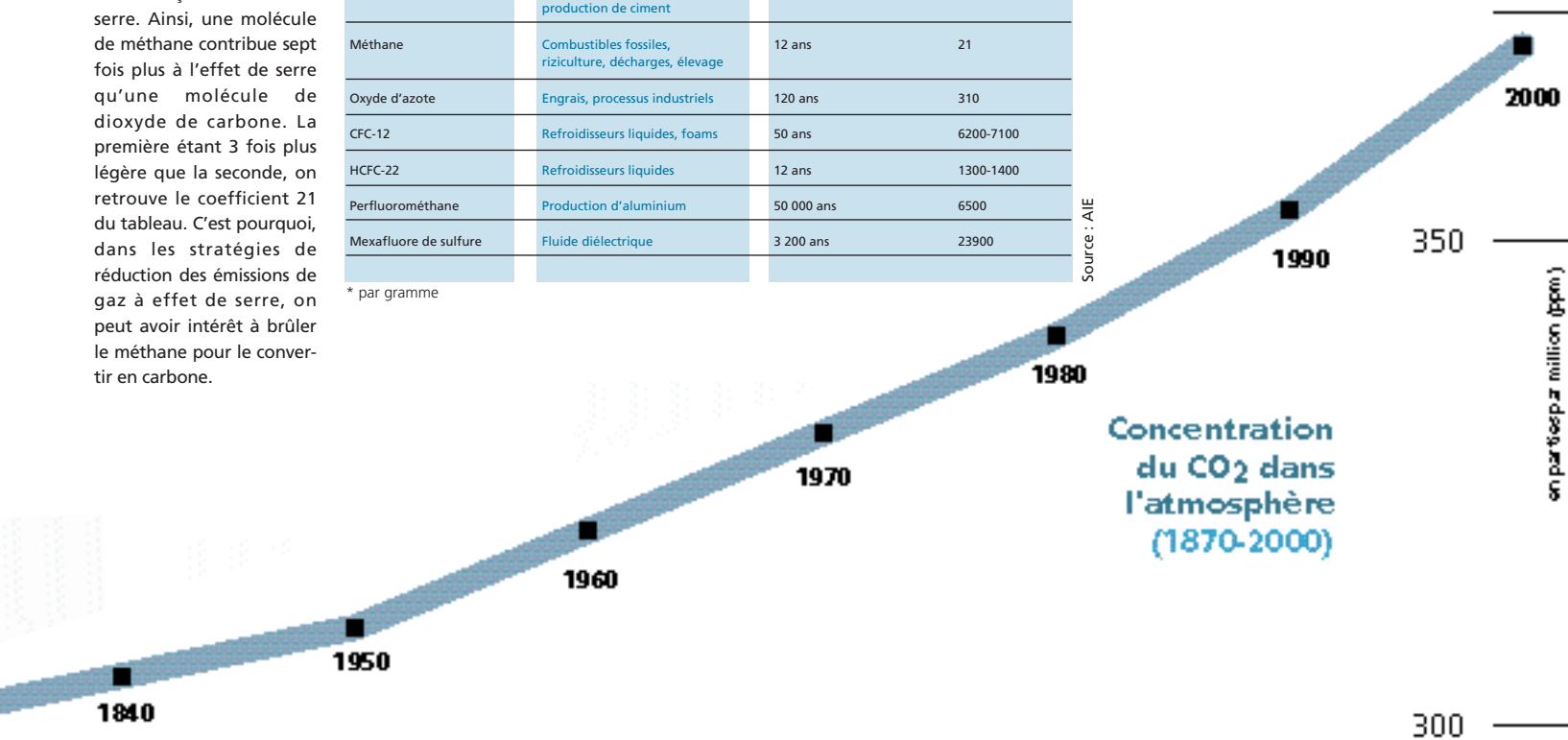
## Différents potentiels de réchauffement

■ Les gaz à effet de serre d'origine humaine ne contribuent pas tous de la même façon à l'effet de serre. Ainsi, une molécule de méthane contribue sept fois plus à l'effet de serre qu'une molécule de dioxyde de carbone. La première étant 3 fois plus légère que la seconde, on retrouve le coefficient 21 du tableau. C'est pourquoi, dans les stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre, on peut avoir intérêt à brûler le méthane pour le convertir en carbone.

Gaz	Origine	Durée de vie	Potentiel de réchauffement*
Dioxyde de carbone	Combustibles fossiles, changement d'utilisation des sols, production de ciment	de 50 à 200 ans	1
Méthane	Combustibles fossiles, riziculture, décharges, élevage	12 ans	21
Oxyde d'azote	Engrais, processus industriels	120 ans	310
CFC-12	Refrigerateurs liquides, foams	50 ans	6200-7100
HCFC-22	Refrigerateurs liquides	12 ans	1300-1400
Perfluorométhane	Production d'aluminium	50 000 ans	6500
Mexafluore de soufre	Fluide diélectrique	3 200 ans	23900

\* par gramme

Source : AIE



en parties par million (ppm)

Source : GRID

## Gros plan sur la recherche

■ Le climat actuel est de mieux en mieux décrit, ses sources de variabilité débusquées. Toutes les disciplines scientifiques sont concernées. Autour de la planète se met en place un réseau de surveillance satellitaire auquel rien n'échappe. Les robots spatiaux mesurent l'énergie venue du soleil, celle renvoyée par la Terre, les courants océaniques, les pluies, les vents, l'étendue des glaces polaires, des forêts, etc. Les ordinateurs utilisés pour simuler le fonctionne-

ment du climat et tenter d'en prévoir les évolutions, voire de retrouver virtuellement ses variations passées, ont fait des progrès considérables. Les modèles numériques que l'on fait tourner sur ces supercalculateurs ont eux aussi changé. Moins rudimentaires, plus réalistes, ils n'ignorent plus, comme avant, les interactions entre l'atmosphère et les océans. Ils tentent de tenir compte des effets subtils des nuages, des aérosols ou de la végétation.

## « Surprises » climatiques

■ Les scientifiques sont persuadés que l'injection massive de gaz à effet de serre ne peut manquer de modifier le climat de la planète. Mais ils ne savent pas à quelle vitesse ni dans quelle direction. Ils ont mesuré une tendance au réchauffement depuis près d'un siècle. Les deux dernières décennies du siècle sont les plus

chaudes depuis un millénaire. Mais on a du mal à affiner les prévisions. Le dernier rapport du Groupe (d'experts) intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) préfère même mettre l'accent sur d'éventuelles « surprises climatiques ». Heureuses et malheureuses, mais en tout cas imprévisibles.

## L'étude du passé

■ Parmi les surprises à craindre, la vitesse à laquelle les changements climatiques pourraient survenir. Il y a 10 ans, les océanographes affirmaient que rien de majeur ne pouvait arriver en moins d'un siècle. Une idée fondée sur la connaissance de l'époque des variations passées. Vues de loin, elles semblaient prendre au moins

des siècles. L'océan surtout donnait l'image tranquille d'un grand régulateur. Or ces deux paradigmes se sont écroulés. L'étude plus minutieuse du passé a montré que le climat, sans même que l'homme y soit pour quelque chose, pouvait montrer des sautes d'humeur rapides, perceptibles en une génération humaine.

## L'homme accroît la variabilité du climat

■ Pour le moment, les conclusions des scientifiques peuvent se résumer ainsi : « Avec les gaz à effet de serre, nous introduisons un facteur de variation supplémentaire dans une machine

dont le fonctionnement normal est de varier. Sans connaître à l'avance l'effet de nos actions, et sans être sûr d'avoir fait le tour des facteurs naturels de changement. »

Les superordinateurs chargés de simuler le climat futur de la planète en fonction des teneurs en gaz à effet de serre ont démarré à la fin des années 1980, d'abord au Max Planck Institut de Hambourg

en Allemagne et à l'université de Princeton aux Etats-Unis. Aujourd'hui il existe une quinzaine de modèles de simulation climatique opérationnels. Chaque grand pays veut disposer de sa simula-

tion. La Chine est en train de se doter d'un tel outil. Les simulations fonctionnent de mieux en mieux au niveau global. En revanche, au niveau régional, les résultats ne sont guère fiables.

## Simulations informatiques

### Atmosphère

Le lâcher de ballons sondes, ou ballons stratosphériques, permet d'obtenir des informations sur la physico-chimie de la haute atmosphère.

### Bouées météo

Les climatologues fixent des bouées météo au fond des océans, jusqu'à près de 5 kilomètres de fond. Ils ont commencé par le Pacifique. L'Atlantique est en cours d'équipement. Aucun projet ne concerne encore l'océan Indien. L'idée est de prévoir les grandes tendances climatiques à plusieurs mois d'avance, et de discerner les influences respectives des différents courants marins dans les variations climatiques. Mais il s'avère difficile de prendre partout des mesures, surtout sous les latitudes élevées : la mer est trop « dure » pour les bouées actuelles.

### Dioxyde de carbone

Les mesures systématiques de concentration de CO<sub>2</sub> dans l'air ont démarré sur l'île de Mauna Loa, à Hawaï, en 1958 (lieu volontairement éloigné des principales sources d'émission de gaz à effet de serre).

### Ozone

Le « trou » de la couche d'ozone atmosphérique a été observé sur la base britannique de Halley Bay, en Antarctique, en 1985.

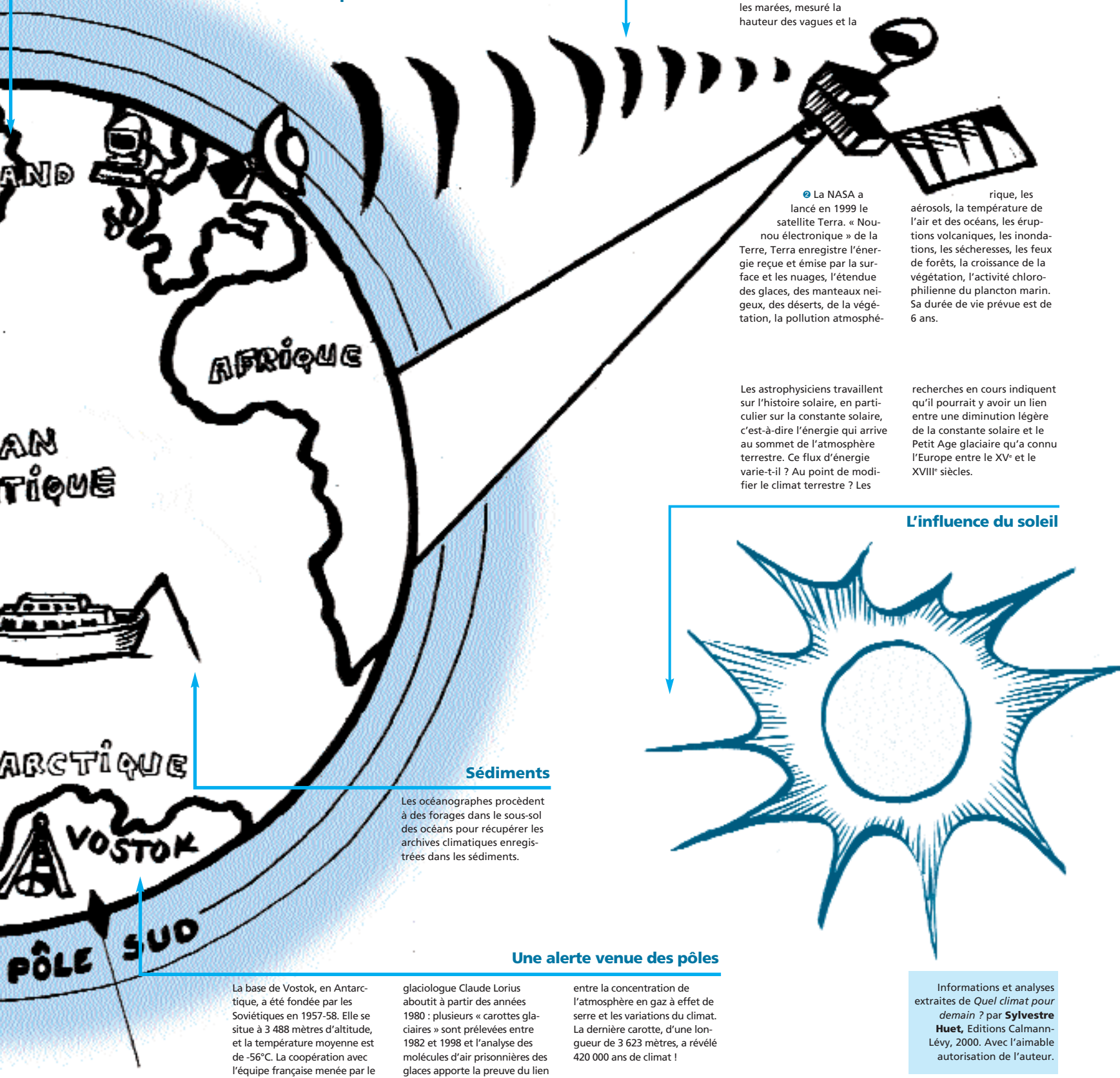


❶ C'est sur la base de Camp Century, au Groenland, créée par le Danois Willi Dansgaard, qu'une première carotte glaciaire a été prélevée. Elle mesurait 1 387 mètres.

❷ Les Européens du programme Greenland Icecore Project, installés depuis 1990 sur la

base groenlandaise de Summit (altitude 3 028 mètres,  $-32^{\circ}\text{C}$  de moyenne), ont montré que le climat du passé n'avait pas toujours évolué lentement et que des catastrophes climatiques d'une rapidité et d'une violence inouïes s'étaient produites.

### Une alerte venue des pôles



### Observations satellitaires

❶ Le premier satellite d'observation des océans a été mis en service en 1992, sur une initiative franco-américaine : pendant sept ans, le Topex-Poseidon a topographié les fonds marins, observé les courants, les marées, mesuré la hauteur des vagues et la

vitesse des vents en surface. Il a notamment confirmé la montée du niveau marin de 2 millimètres par an. Il doit être remplacé en 2001 par le satellite Jason.

❷ La NASA a lancé en 1999 le satellite Terra. « Nou-nou électronique » de la Terre, Terra enregistre l'énergie reçue et émise par la surface et les nuages, l'étendue des glaces, des manteaux neigeux, des déserts, de la végétation, la pollution atmosphé-

rique, les aérosols, la température de l'air et des océans, les éruptions volcaniques, les inondations, les sécheresses, les feux de forêts, la croissance de la végétation, l'activité chlorophyllienne du plancton marin. Sa durée de vie prévue est de 6 ans.

Les astrophysiciens travaillent sur l'histoire solaire, en particulier sur la constante solaire, c'est-à-dire l'énergie qui arrive au sommet de l'atmosphère terrestre. Ce flux d'énergie varie-t-il ? Au point de modifier le climat terrestre ? Les

recherches en cours indiquent qu'il pourrait y avoir un lien entre une diminution légère de la constante solaire et le Petit Age glaciaire qu'a connu l'Europe entre le XV<sup>e</sup> et le XVIII<sup>e</sup> siècles.

### Sédiments

Les océanographes procèdent à des forages dans le sous-sol des océans pour récupérer les archives climatiques enregistrées dans les sédiments.

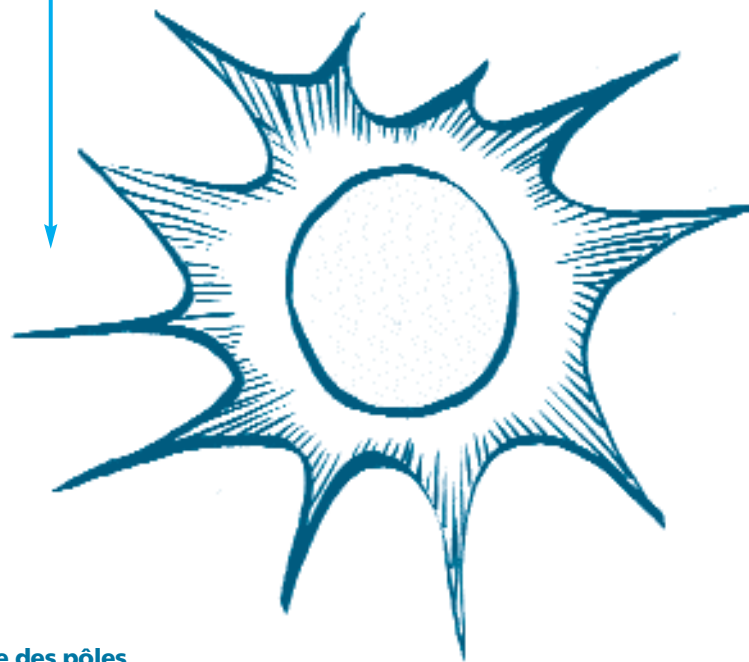
### Une alerte venue des pôles

La base de Vostok, en Antarctique, a été fondée par les Soviétiques en 1957-58. Elle se situe à 3 488 mètres d'altitude, et la température moyenne est de  $-56^{\circ}\text{C}$ . La coopération avec l'équipe française menée par le

glaciologue Claude Lorius aboutit à partir des années 1980 : plusieurs « carottes glaciaires » sont prélevées entre 1982 et 1998 et l'analyse des molécules d'air prisonnières des glaces apporte la preuve du lien

entre la concentration de l'atmosphère en gaz à effet de serre et les variations du climat. La dernière carotte, d'une longueur de 3 623 mètres, a révélé 420 000 ans de climat !

### L'influence du soleil



Informations et analyses extraites de *Quel climat pour demain ?* par Sylvestre Huet, Editions Calmann-Lévy, 2000. Avec l'aimable autorisation de l'auteur.

## Qu'est-ce qu'un modèle climatique ?

■ Les outils dont nous disposons actuellement pour tenter de savoir ce qui peut se passer à l'avenir sont des modèles climatiques. Un modèle climatique est un logiciel très complexe, un programme informatique construit de la manière suivante :

❶ On « modélise », c'est-à-dire que l'on repré-

sente, par des équations mathématiques, les principales lois qui régissent notre atmosphère.

❷ On transforme ces équations en lignes de code informatique.

❸ Comme on ne peut pas décrire ce qui se passe absolument partout, on fait un maillage, c'est-à-dire que l'on recouvre la planète d'un filet imagi-

naire dont la maille (comme pour un filet de pêche, la maille est la distance qui sépare deux fils) mesure quelques centaines de kilomètres de côté (selon les modèles), et l'on fixe à chaque « nœud » du filet les conditions de départ en indiquant les valeurs que l'on y observe pour un certain nombre de choses (la

température, les précipitations, le vent...) à un instant donné.

❹ On fait « tourner le modèle » : l'ordinateur calcule, sur la base des équations et des valeurs initiales, comment évoluent les choses à chaque « nœud » du filet à intervalles de temps réguliers (en fonction de la puissance informatique dont

on dispose, ce sera tous les mois ou toutes les demi-heures). L'un des avantages de ces modèles est qu'ils peuvent facilement prendre en compte une perturbation qui évolue au cours du temps, par exemple l'augmentation de la teneur en gaz à effet de serre : il suffit de rajouter une équation dans la liste.

## Le perfectionnement informatique

■ Les débuts de la modélisation remontent aux années 1960. Ce qui a permis un essor rapide de la discipline est plus l'augmentation de la puissance informatique disponible que l'amélioration de la connaissance

du fonctionnement de l'atmosphère, fonctionnement qui était déjà assez bien connu il y a quelques dizaines d'années (les premières « alertes » sur le réchauffement climatique datent d'ailleurs de la fin des

années 1960). Par exemple, le temps de calcul pour simuler un mois d'évolution a été divisé par plus de 100 entre 1980 et nos jours. Plus la puissance informatique augmente, plus on peut utiliser des mailles

de petite taille. De même, plus on travaille sur des périodes courtes, plus on peut diminuer la maille (ce qui augmente la précision des prévisions) : les météorologues, qui ne s'intéressent pas au climat qu'il y aura

dans quelques siècles, mais à celui qu'il y aura demain ou dans 3 jours, travaillent sur des modèles assez voisins de ceux qu'utilisent les climatologues, mais avec des mailles de quelques kilomètres seulement.

## Une quinzaine de modèles...

■ Il existe actuellement une quinzaine de modèles dans le monde, sur lesquels travaillent environ 2 000 scientifiques. Les lois de la physique restent les mêmes partout, mais ces modèles sont quand même assez différents les uns des autres : les uns

prennent en compte ce que l'on sait des effets des nuages, les autres pas ; les uns prennent en compte certains phénomènes de la biosphère, les autres pas ; etc. Voici les principaux phénomènes pris en compte dans les modèles :

❶ La circulation de l'air

dans l'atmosphère (tous les modèles).

❷ Les courants océaniques (tous les modèles).

❸ Les nuages (les modèles les plus récents seulement).

❹ Les échanges de carbone entre l'atmosphère et la planète (tous les

modèles, mais avec des degrés de sophistication différents).

❺ Les échanges d'énergie, en particulier sous forme de rayonnement électromagnétique, entre la Terre, l'océan, l'atmosphère et l'espace (tous les modèles).

## ... et un scénario moyen d'émissions de gaz

■ Tous les modèles reposent sur le scénario moyen de prévision des émissions de gaz à effet de serre retenu par le Groupe (d'experts) intergouvernemental sur l'évolution du climat dans son rapport de

1995, à savoir un doublement de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère d'ici 60 à 80 ans. C'est le scénario qui semblait le plus vraisemblable à l'époque. Aujourd'hui, le rythme de progression des

émissions des pays les plus pollués ne se ralentissant pas, et les négociations internationales piétinant, ce scénario moyen est revu à la hausse : les experts tablent plutôt sur une multiplication par trois ou

quatre de la concentration en CO<sub>2</sub> au cours de la même période, donc sur un renforcement encore plus marqué de l'effet de serre.

## Trois grandes faiblesses

■ Les modèles comportent trois sources d'incertitude. Tout d'abord, notre système atmosphérique n'est pas entièrement prévisible. C'est bien pour cela qu'il arrive que la météo se trompe. Ensuite, un modèle est forcément simplificateur : il simplifie le fonctionnement des phé-

nomènes qu'il représente. Il est cependant légitime et courant de procéder de la sorte : une simplification n'est pas nécessairement en elle-même une source d'erreur. Enfin, les modèles ne représentent tous les phénomènes qui entrent en compte dans un système tel que le climat.

Parmi les éléments qui doivent être mieux pris en compte, on peut citer :

❶ Les nuages.

❷ Les puits et sources de carbone océanique et continentale, et notamment l'influence de la biosphère.

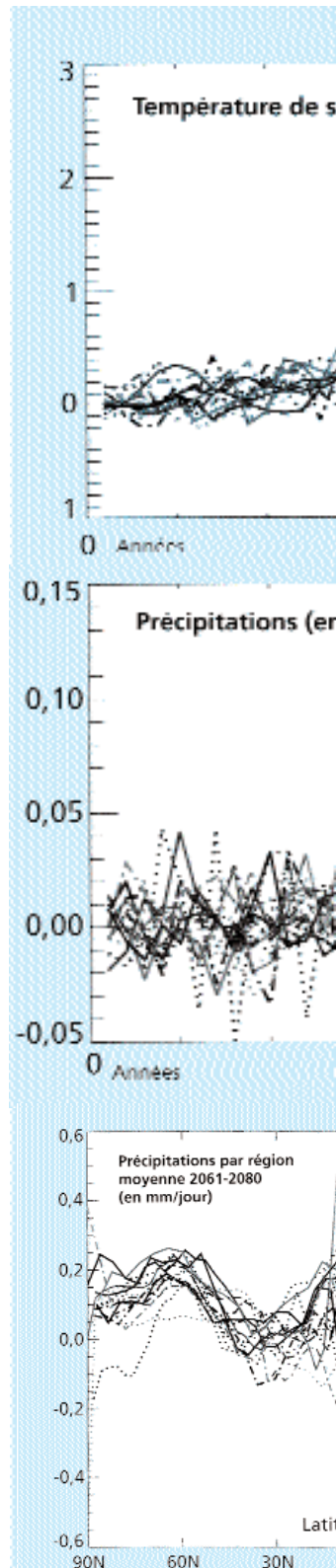
❸ L'évaporation continentale.

❹ La circulation océanique profonde (qu'il est difficile de mesurer).

❺ Le cycle du méthane.

❻ La prise en compte de l'augmentation de l'ozone troposphérique (celui qui est près du sol).

❼ Le rôle des aérosols organiques ou minéraux (les poussières).



## Une certaine convergence des résultats

■ Même s'ils sont construits de manière différente, même si leurs résultats chiffrés ne sont pas identiques, tous ces modèles aboutissent à des conclusions de même nature : l'homme modifie le climat dans le sens d'un

réchauffement global de la planète. En outre, ces modèles indiquent aussi que l'influence humaine sera de plus en plus forte si les émissions de gaz à effet de serre continuent comme maintenant.

● La température moyen-

ne de la planète va augmenter. La fourchette des évaluations va de 1 à 6 °C à l'horizon d'un siècle.

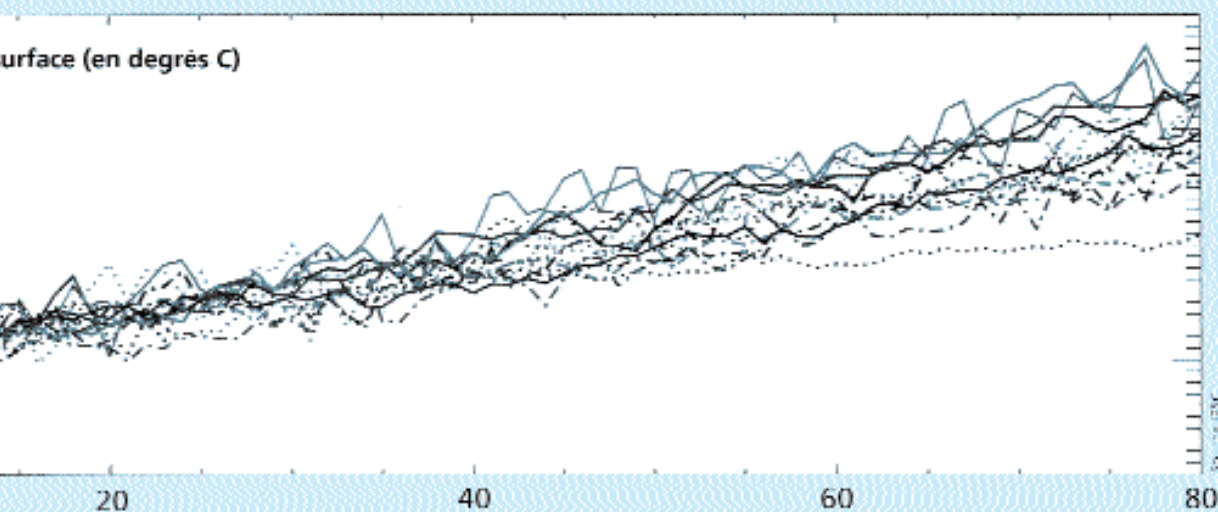
● Les échanges d'eau entre la Terre et l'atmosphère vont augmenter. Il pleuvra plus souvent, ou plus fort (avec en ce cas

une augmentation du risque d'inondations). Toutefois, le surplus de précipitations devrait être réparti de façon très inégale selon la latitude.

● Le réchauffement sera plus prononcé la nuit que le jour, l'hiver que l'été (ce

qui n'est pas sans conséquence pour la végétation), aux pôles qu'aux moyennes latitudes, sur les continents que sur les océans. Dans ce dernier cas, un facteur 2 à 3 entre l'augmentation globale et celle au-dessus des terres

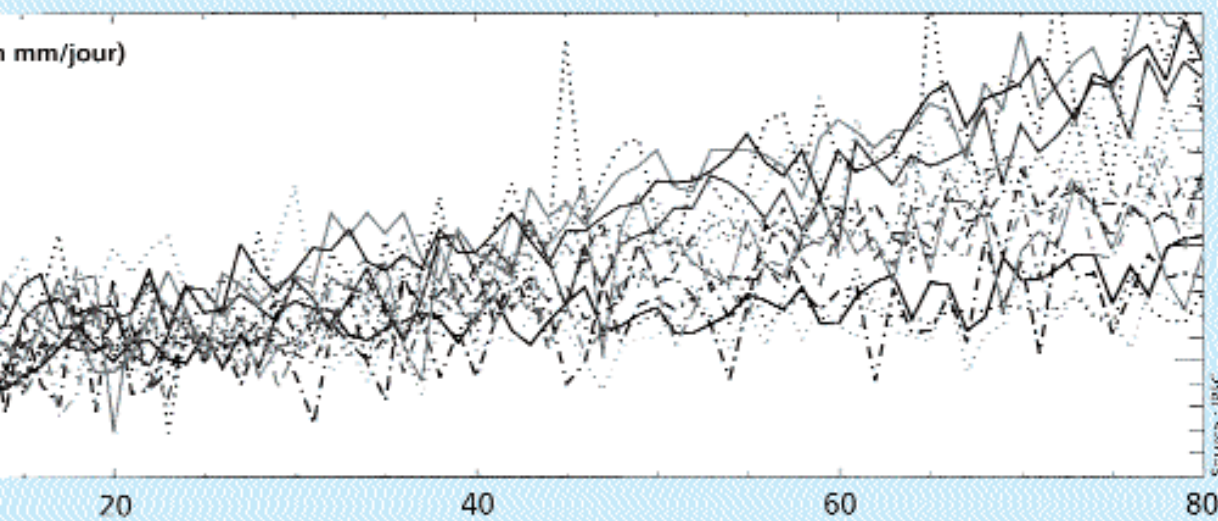
est parfaitement possible. Cela signifie que pour 3 °C d'augmentation de la température moyenne, qui est la prévision médiane pour 2100, nous pourrions avoir 6 à 9°C d'augmentation moyenne au-dessus des continents.



## Les 15 modèles indiquent tous...

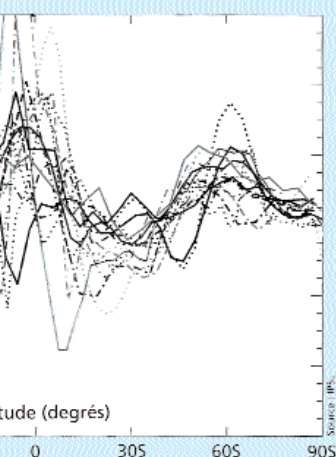
### 1 une température moyenne en hausse

La fourchette des estimations des 15 modèles (une courbe par modèle) va de 1 à 6 °C à l'horizon d'un siècle.



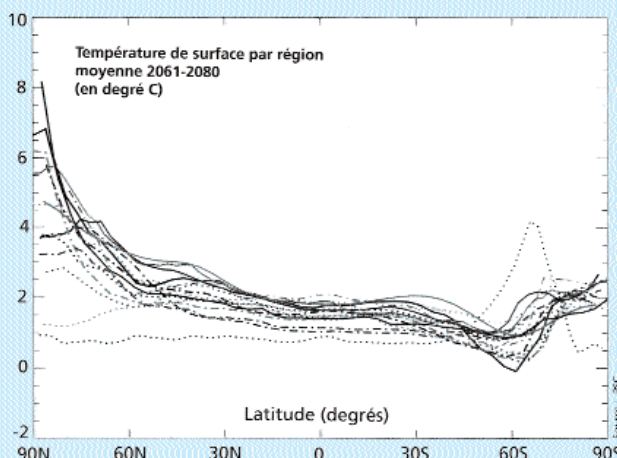
### 2 plus d'échanges d'eau Terre/atmosphère

Lorsqu'une courbe (une courbe par modèle) franchit la valeur 0,05 par exemple, cela signifie que les précipitations moyennes à la surface du globe augmentent de 0,05 mm d'eau par jour, soit un peu plus de 18 mm par an, soit encore 3,5 % des précipitations actuelles (520 mm d'eau par an en moyenne).



### 3 des précipitations plus mal réparties

Les courbes (une par modèle) donnent la répartition du surplus (ou du déficit) de précipitations en fonction de la latitude pour un doublement de la concentration en CO<sub>2</sub>. Ainsi, par 60° Nord (Nord de l'Ecosse, Sud de la Norvège) il pleuvra 70 mm d'eau par an de plus en moyenne, alors que vers 30° Nord (Californie, Sahara, Mongolie) il pleuvra encore moins.



### 4 un réchauffement non uniforme

Le réchauffement sera plus sensible la nuit que le jour, l'hiver que l'été, aux pôles que sur les latitudes basses, sur les continents plutôt que sur les océans. Les glaces du pôle Nord (90° de latitude Nord, à gauche sur la figure) sont les premières concernées : l'augmentation moyenne de température au pôle Nord pourrait aller jusqu'à 8°C pour un doublement de la teneur en CO<sub>2</sub>.

**Un objectif faute de mieux... Le protocole de Kyoto vise à réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre de 5,2 % par rapport à 1990. C'est très loin de ce qui serait souhaitable : selon le GIEC, il faudra un jour redescendre à environ 3 milliards de tonnes (3 milliards de tonnes) d'équivalent carbone par an, soit la moitié des émissions de 1990... Le protocole de Kyoto n'est pas vain pour autant : sa raison d'être est d'amorcer la baisse des courbes d'émission.**

## Lexique

### Air chaud

*Hot air.* La crise économique due à la fin du régime soviétique s'est traduite par un effondrement de l'activité industrielle, et les émissions ont diminué d'environ un tiers depuis 1991. L'objectif 0 % fixé en 1997 par rapport à 1990 signifiait donc que la Russie et l'Ukraine avaient le droit d'accroître leurs émissions ! Polémique : faut-il autoriser la Russie et l'Ukraine à vendre sur le marché international ces permis non utilisés chez eux et qui ne correspondent pas à un effort interne contre la pollution ? Les Etats-Unis sont très favorables au commerce de cet « air chaud ».

### Annexe I

Seuls les pays industrialisés inscrits sur l'Annexe I de la convention cadre sont concernés par les engagements de réduction des émissions. Mais pas ceux inscrits sur la liste B de l'Annexe I, comme la Turquie.

### Approche panier

Six gaz sont concernés par les objectifs de réduction de Kyoto : le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux et trois substitués des chlorofluorocarbures. Les objectifs de réduction sont définis en équivalent CO<sub>2</sub> et non pour chaque gaz séparément. Cette approche panier a été retenue à la demande des Etats-Unis, qui voulaient le plus de flexibilité possible entre les 6 gaz (lire pages 76-77). Un choix qui rend les engagements plus flous.

### Permis d'émission négociables

Le protocole de Kyoto instaure des quotas nationaux d'émission mais permet d'échanger des permis d'émission non utilisés. Questions : Les entreprises peuvent-elles échanger directement des permis d'un pays à l'autre, ou le commerce passera-t-il par une agence nationale ? Quel pourcentage du quota national d'émissions peut-on échanger ? Les permis des anciens pays de l'Est peuvent-ils être vendus, alors qu'ils ne correspondent pas à un effort interne de lutte contre la pollution ?

## Paquet de Pronk

Devant l'enlisement des discussions, le président de la COP6, Ian Pronk (ministre de l'Environnement des Pays-Bas), a proposé un compromis qui regroupait les points à négocier en quatre grands blocs (lire Box A, B, C, D).

## Engagements de réduction de Kyoto

A Kyoto, en 1997 à la 3e COP, 38 pays se sont engagés à réduire leurs émissions d'ici à 2012 par rapport à 1990. Etats-Unis : - 7 %. Japon et Canada : - 6 %. Union européenne : - 8 % globalement. Russie et Ukraine : objectif zéro (voir air chaud). Nouvelle-Zélande : objectif zéro. Australie : + 5 % (pour sortir du charbon). Soit globalement - 5,2 % pour les pays de l'Annexe I. En réalité hors pays de l'Est, elles ont augmenté de plus de 11 %. Seuls 5 Etats (Allemagne, Royaume-uni, Luxembourg, Suède, Suisse) ont réduit leurs émissions par rapport à 1990.

« Stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui prévient toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ». Les pays développés inscrits dans l'Annexe I de la convention s'étaient engagés mais sans contrainte, à stabiliser leurs émissions de l'an 2000 au niveau de 1990.

Rencontre officielle des représentants des Etats membres. La 6e COP, ouverte à La Haye en novembre 2000, est suspendue mais pas close. Une COP6 bis pourrait offrir une chance d'aboutir. La COP7 est déjà prévue fin octobre 2001 à Marrakech.

Pays pétroliers inquiets de leur futur manque à gagner, pays forestiers qui veulent des puits, pays industrialisés qui veulent du MDP, pays secs et agricoles sans atout dans la négociation... Tous d'accord pour que les pays développés appliquent leurs engagements. Mais pas d'accord sur les puits, ni sur le développement propre, ni sur le marché des permis.

## COP6

## Convention cadre

Signée en 1992 dans le cadre du Sommet de la Terre. Entrée en vigueur en 1994.

## G77 + Chine

6e conférence des parties à la convention-cadre sur les changements climatiques.

Réunit des pays en développement dans des situations très diverses.

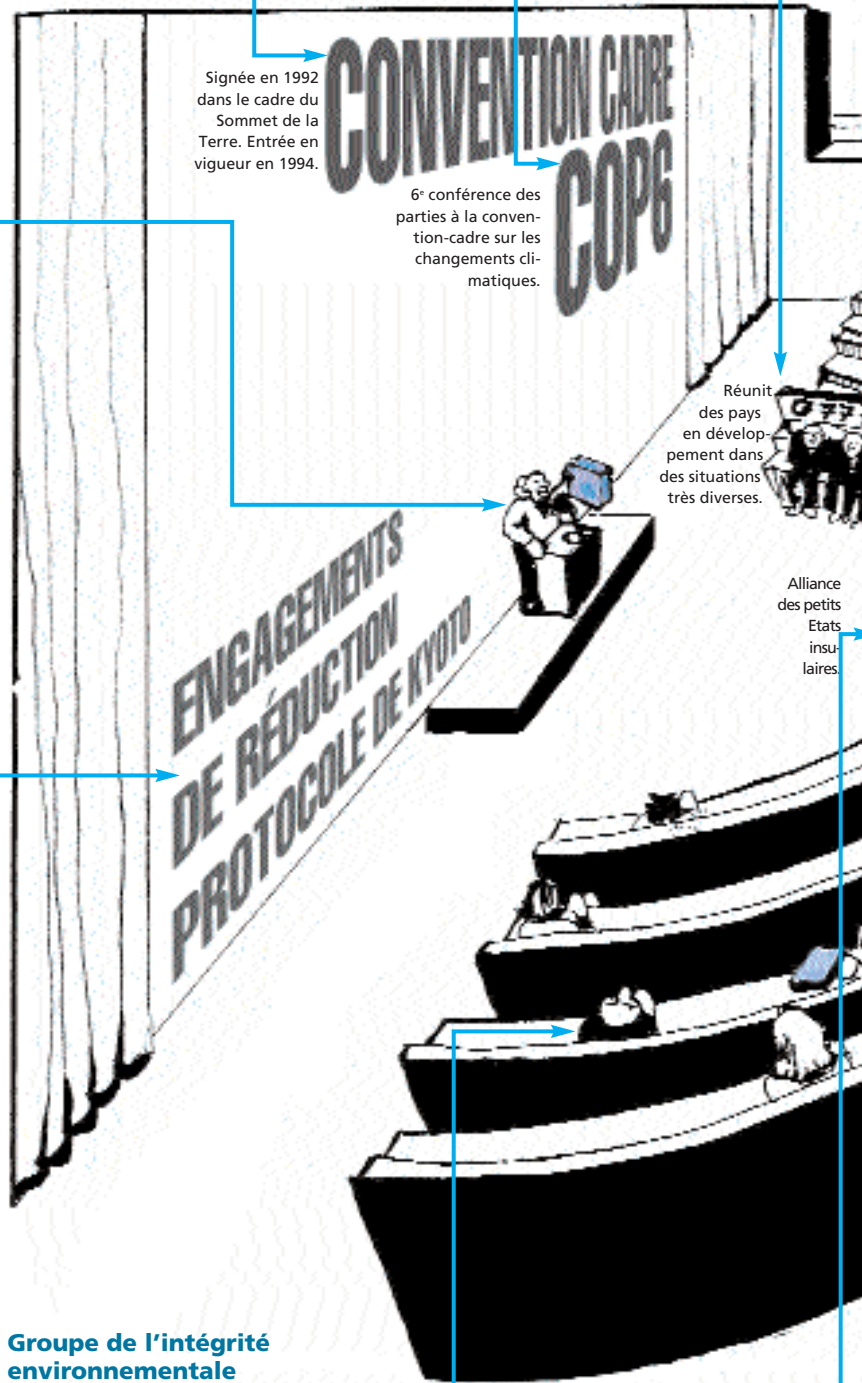
Alliance des petits Etats insulaires

## Groupe de l'intégrité environnementale

Suisse, Mexique, Corée du Sud. Partisans d'un protocole fort, avec le moins d'échappatoires possibles. Leur position se distingue surtout de celle de l'UE par une opposition forte au nucléaire.

## AOSIS

Directement menacés par le réchauffement climatique et la montée des eaux, ils sont les premiers à avoir porté la question des émissions de gaz à effet de serre sur la scène politique dans les années 1980.





Le protocole de Kyoto ne tient pas compte des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation et du transport maritime, considérées comme apatrides, c'est-à-dire pas émises sur un territoire national donné.

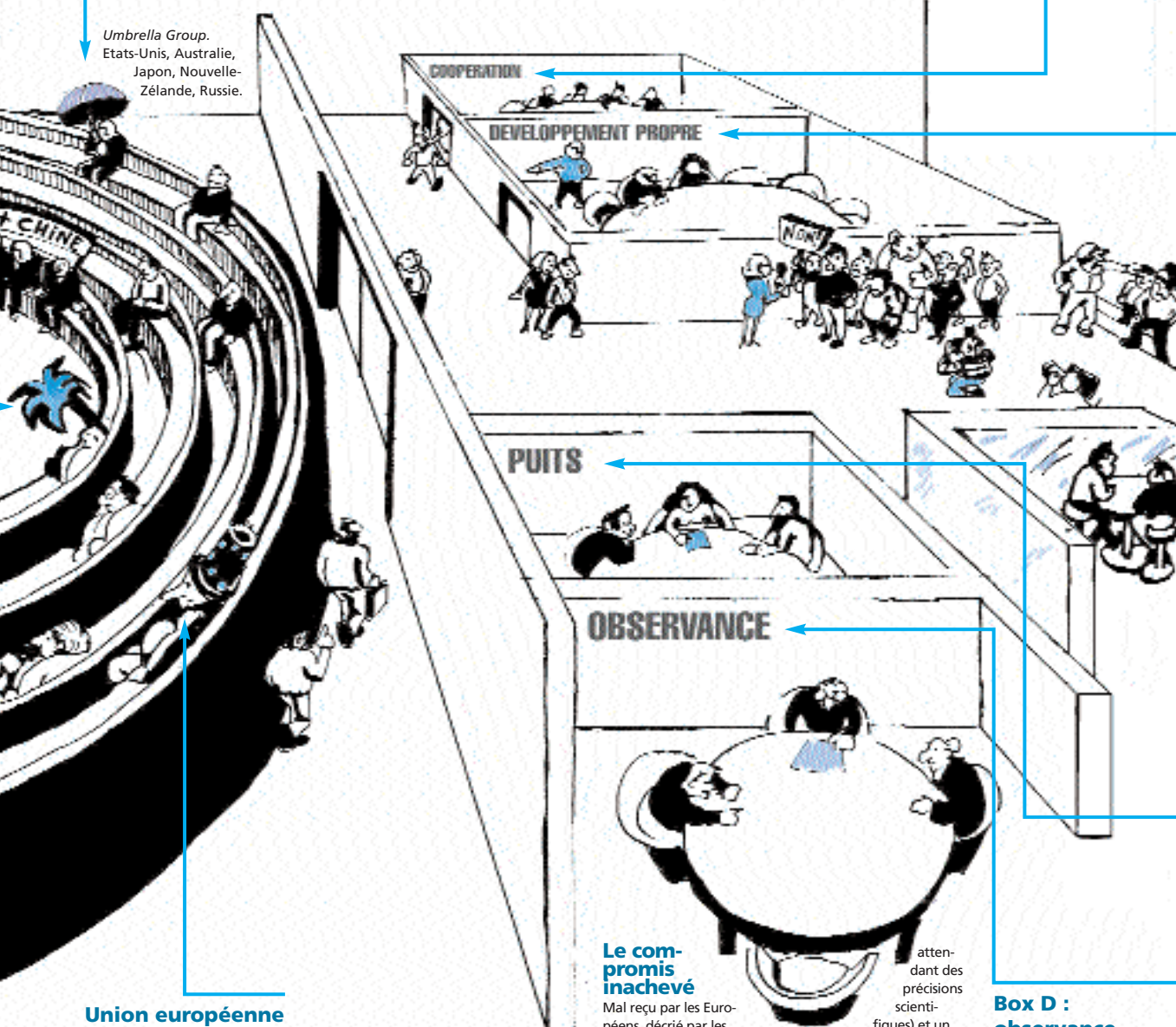
### Aviation et transport maritime

Réclament le plus de flexibilité possible dans l'application de leurs engagements : pouvoir réaliser les réductions à l'étranger plutôt que chez soi (où le coût de la dépollution est plus élevé), comptabiliser le carbone stocké par la biosphère, acheter

des permis d'émission aux pays qui n'épuisent pas les leurs. Le tout sans règles de sanction trop contraignantes. La présence de la Russie s'explique par le deal avec les Américains sur le commerce de l'air chaud (lire lexique).

### Groupe du parapluie (ou de l'ombrelle)

Umbrella Group.  
Etats-Unis, Australie, Japon, Nouvelle-Zélande, Russie.



### Box A : coopération

Le Box A du compromis de Pronk regroupe les questions propres aux PED : financement de la coopération, renforcement des capacités, transfert de technologie...  
Questions : Renforcer le rôle du Fonds pour l'environnement mondial ? Créer un fonds spécial pour l'adaptation ? Instaurer un traitement à part pour les pays les moins avancés ?

### Box B : mécanisme de développement propre (MDP)...

Permet aux pays de l'Annexe I d'acquérir des permis d'émission supplémentaires contre des investissements dans des technologies non polluantes au Sud.  
Questions : Les puits sont-ils éligibles au MDP (on reboise au Brésil = on gagne des droits d'émission) ? Le nucléaire est-il éligible ? Faire une liste des actions MDP ou laisser chaque PED choisir ? Définir des règles d'équilibre géographique, pour que tous les projets MDP n'aillent pas dans les PED industrialisés ou forestiers ? Quelle proportion des engagements nationaux peut-on remplir grâce au MDP ?

### ... et supplémentarité

Ou effort domestique. Un Etat doit respecter ses engagements en partie par des mesures internes, en partie en recourant à des mécanismes de flexibilité : achats de permis d'émission à l'étranger, acquisitions de permis supplémentaires contre des investissements « propres » au Sud. Le problème est de convenir d'un dosage entre effort interne et flexibilité.

### Box C : puits de carbone

Désigne la capacité de la biosphère (plantes, sol, plancton...) à stocker du carbone. Les scientifiques connaissent encore mal le phénomène. L'incertitude n'empêche pas certains de vouloir déduire les puits de leur bilan national d'émissions, ni d'autres de vouloir définitivement exclure leur prise en compte. La bataille reste ouverte.

### Box D : observance

Compliance. Ensemble des règles de surveillance et de sanction. Pilier de l'efficacité de la convention à long terme.  
Questions : Dans quelle mesure les réductions peuvent-elles être reportées à plus tard ? Les pénalités sont-elles financières ? Ou sous forme de réduction supplémentaire à accomplir ?

### Le compromis inachevé

Mal reçu par les Européens, décrié par les environnementalistes, le texte de Pronk a cependant le mérite de désigner les lieux de compromis inévitables entre l'UE et l'Umbrella : un peu de puits (en

attendant des précisions scientifiques) et un peu de MDP en échange d'un régime d'observance cohérent. Le tout étant affaire de dosage... Le paquet de Pronk demeure la base des négociations informelles.

### Union européenne

Défend un protocole fort, avec le moins d'échappatoires possibles et un régime de sanctions solide.  
La position radicale de l'UE l'a empêché de débattre du compromis acceptable avec l'Umbrella : accepter une flexibilité relativement grande en première période (d'ici à 2012) en échange d'une plus grande rigueur en seconde période.

**Les pays industrialisés ont adopté des objectifs quantitatifs contraignants de limitation des rejets de gaz à effet de serre pour l'horizon 2008-2012. Cette décision constitue un pas majeur dans la construction d'un régime international sur l'effet de serre : elle fixe des objectifs clairs et fournit la possibilité de vérifier à l'échéance les résultats des efforts de chaque pays. Mais la ratification du protocole achoppe toujours sur la question de la mise en œuvre des « mécanismes de flexibilité ». Cela explique en particulier l'échec de la conférence de La Haye en novembre 2000.**

## Trois types de flexibilité

■ L'effet de serre posant un problème global, les politiques de limitation des émissions disposent de marges de manœuvre à trois niveaux.

❶ Où réduire ? Une tonne de CO<sub>2</sub> évitée en Afrique ou en Asie a la même valeur qu'une tonne évitée en Europe ou en Amérique du Nord.

❷ Que réduire ? Une tonne de méthane évitée a la même valeur que vingt-et-une tonnes de CO<sub>2</sub>.

❸ Quand réduire ? Pour

un objectif donné de concentration de gaz à effet de serre en 2050, on peut choisir de réduire les émissions après-demain plutôt que demain.

## Le choix de Kyoto

■ A la demande des Etats-Unis, le dispositif d'objectifs contraignants de Kyoto s'est accompagné d'un accord sur des mécanismes de flexibilité. Les Etats-Unis n'ont accepté de se démarquer de leur objectif initial

(-7 % par rapport à 1990 alors qu'ils voulaient une simple stabilisation) qu'à condition qu'une double flexibilité soit mise en œuvre, à la fois géographique et entre les six principaux gaz à effet de serre

(où et quoi). La motivation est clairement assumée : il s'agit de réduire le coût des politiques de réduction, en profitant des options les moins coûteuses et en se rapprochant d'un objectif constant de l'économie de

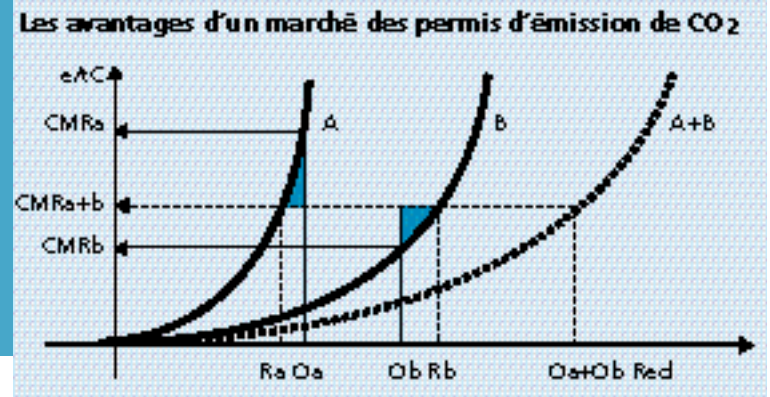
l'environnement, l'égalisation des coûts marginaux de réduction. Les marchés de droits d'émission négociables entre pays contraints sont un des moyens privilégiés pour atteindre cet objectif.

■ Dans une politique « autarcique », le pays A doit satisfaire l'objectif de réduction O<sub>a</sub> à un coût marginal CM<sub>Ra</sub> ; de même pour le pays B. Si A et B créent un marché, leur objectif consolidé devient O<sub>a+Ob</sub> et le CMR de l'ensemble CM<sub>Ra+b</sub>. L'objectif environnemental est atteint et A évite des efforts trop coûteux au-delà de R<sub>a</sub>, en achetant les permis produits plus efficace-

ment par B qui réduit jusqu'à R<sub>b</sub>, au-delà de son propre objectif. Le

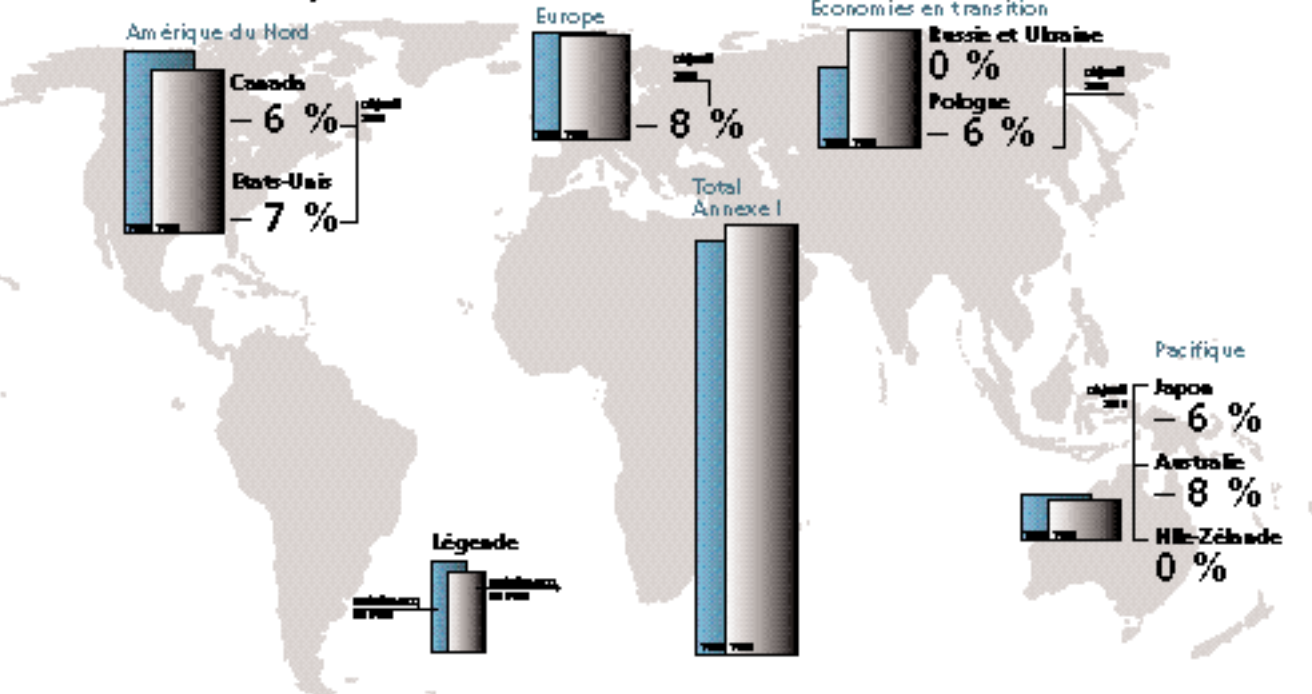
coût total du programme de réduction est ainsi minimisé, avec des gains

pour les deux parties (triangles pleins sur la figure).



## Flexibilité : l'enjeu de l'air chaud

■ La courbe totale des émissions de CO<sub>2</sub> d'origine fossile des pays industrialisés est orientée à la baisse : -3,2 % entre 1990 et 1999. En réalité, c'est dû uniquement à l'effondrement de l'activité économique dans l'ancien bloc soviétique. En conséquence, l'objectif 0 % que la Russie et l'Ukraine ont arraché à Kyoto équivaut à un droit d'augmenter d'un tiers leurs émissions d'ici à 2010. Si, au nom de la flexibilité, on les autorise à vendre ces droits d'émission non utilisés chez eux aux autres pays industrialisés, chacun pourra satisfaire ses engagements de réduction sans faire le moindre effort.



## Les enseignements des modèles

■ Les modèles énergétiques ou économiques montrent que, pour les objectifs de Kyoto, les coûts marginaux de réduction seraient de 150 à 300 euros par tonne de carbone (E/tC) dans des politiques nationales « autar-

ciques ». Ils descendraient à environ 50-100 E/tC dans le cas d'une flexibilité complète entre les pays industrialisés (et compte tenu de l'air chaud), voire plus encore si les potentiels de réduction des pays en développement étaient

mobilisés<sup>1</sup>. Ainsi, les coûts annuels de réduction, respectivement de 0,11 et 0,034 % du PIB en 2010 en Europe et aux Etats-Unis dans la solution autarcique, seraient ramenés, dans un « marché Annexe A », à 0,07 et 0,21 % du PIB<sup>2</sup>.

1. Voir le compte-rendu du séminaire organisé à Bruxelles les 29-30 août 2000 par l'IEPE pour le ministère de l'Environnement et les DG Recherche et Environnement de l'UE : [www.upmf-grenoble.fr/iepe/techmeet/SPM.html](http://www.upmf-grenoble.fr/iepe/techmeet/SPM.html)

2. Estimation modèle POLES-ASPEN, IEPE.

## Controverse

■ Depuis 1997, la question de la mise en œuvre des dispositifs de flexibilité est au cœur des négociations internationales et structure en particulier

l'opposition entre les Etats-Unis et les pays européens. Nombre d'entre eux sont en effet réticents, voire hostiles, aux mécanismes de flexibilité.

Les raisons sont multiples : elles vont du refus invoqué d'une « marchandisation de la nature » à des considérations plus opérationnelles

(risque d'un « signal-prix » trop faible pour enclencher les évolutions technologiques nécessaires dans les pays industrialisés).

## Le garde-fou de la « supplémentarité »

■ La crainte de voir les mécanismes de flexibilité se substituer massivement aux efforts domestiques s'est traduite par la mention dans le protocole de Kyoto du caractère « supplémentaire » des achats de permis d'émission. Le Conseil des ministres de

l'Environnement de l'UE avait de son côté proposé en avril 1999 l'instauration de plafonds aux échanges, les *concrete ceilings*. Depuis, des analyses économiques convergentes ont cependant révélé les risques associés à de tels plafonds : ils

peuvent entraîner soit un effondrement du prix des permis du fait de la réduction de la demande (monopsonne de fait), soit au contraire son envolée en raison de la contraction de l'offre (monopole de fait).

■ Sur un marché non contraint, les courbes de demande de permis (D) et d'offre de permis (O) se croisent pour un niveau d'échanges de 400 millions de tonnes de carbone (soit environ la moitié des réductions exigées) et un prix de 50,9 dollars par tonne. Si seule la demande est contrainte (D'), elle

excède l'offre d' « air chaud » et le prix tombe à 0. Si l'offre est également contrainte, la courbe d'offre se déplace à son tour vers la gauche (O') et le prix grimpe à plus de 100

dollars par tonne. Les conséquences distributives de ces mouvements de prix sont évidemment considérables, pour les acheteurs comme pour les vendeurs.

## Un prix maximum ?

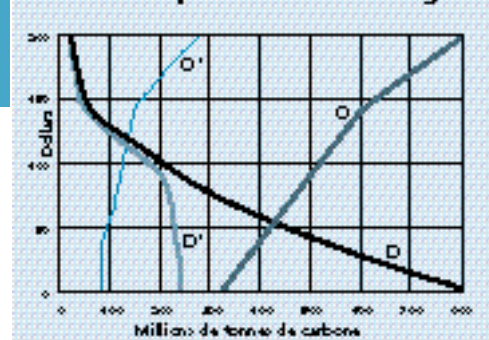
■ En Amérique du Nord, où l'on est toujours plus sensible à la limitation des coûts, certains centres d'analyse avaient quant à eux proposé d'instaurer un prix maximum des per-

mis<sup>1</sup> (50 dollars par tonne de carbone par exemple). Ce schéma présentait l'avantage de constituer une solution au problème de l'observance puisque le prix plafonné représentait

aussi bien une taxe internationale ou une pénalité.

1. Voir notamment Resources For the Future : [www.weather.vane.rff.org/features/parisconf0721/KMP-RFF-CIRED.pdf](http://www.weather.vane.rff.org/features/parisconf0721/KMP-RFF-CIRED.pdf)

### Le coût des plafonds aux échanges



Images du marché de permis entre pays industrialisés en 2010, avec et sans contraintes aux échanges (simulation modèle POLES - logiciel ASPENSd)

## Point de vue La Haye : un échec évitable ?

■ La situation au début de la négociation de La Haye en novembre 2000 était sans doute assez ouverte sur l'ensemble des options. Alors que dans un premier temps aucun consensus ne semblait pouvoir se dégager, le compromis présenté par Jan Pronk aurait sans doute pu constituer une base d'accord acceptable. En effet, le jeu de mesures proposées conduisait à une situation d'ensemble proche de celle du marché libre des permis. Mais la question techniquement difficile des « puits » de carbone est demeurée la pierre d'achoppement de la négociation.

**Les ratés de la négociation sur les puits.** La délégation américaine demandait en effet que le reboisement soit pris en compte comme moyen de stocker du carbone, alors que ses effets à long terme restent très discutés au plan scientifique et que les modalités de calcul demeurent confuses. La proposition Pronk avait le mérite de fortement contraindre cette option en la limitant à 3 % des émissions de 1990. Les

puits n'auraient donc représenté au maximum pour les Etats-Unis que 3 %, sur une réduction totale d'au moins 30 % par rapport à la situation de référence 2010 (pour l'Europe la réduction « Kyoto » représente selon les modèles - 20 à - 25 % par rapport à la référence).

**Un rabais de 10 %.** Ne doit-on pas regretter alors le manque d'une vision commune de l'Europe sur ces questions ? Elle aurait permis de conclure l'accord avec les Etats-Unis - au prix d'un « rabais commercial » de réduction des émissions américains de 10 % - et d'éviter l'échec. On a du mal aujourd'hui à cerner les modalités de la reprise de la négociation, alors qu'outre-Atlantique des voix de plus en plus nombreuses réclament une re-négociation du protocole. Pour aborder cette phase difficile, il importe plus que jamais d'œuvrer pour une convergence européenne sur les voies et les moyens de la lutte contre le changement climatique.

Patrick Criqui

### Le changement climatique par le gouvernement canadien

Site d'information tout public sur le changement climatique et ses effets. Il contient une section importante à l'usage des enseignants et des élèves. Il offre en outre quelques éléments sur la politique énergétique nationale et régionale canadienne.  
[www.changementsclimatiques.gc.ca/french/](http://www.changementsclimatiques.gc.ca/french/)

### Climate Change in Asia

Tout sur les émissions, les rapports et les mesures prises dans les différents pays asiatiques. Un forum de discussion sur comment réduire les émissions du continent. Site sponsorisé par la coopération américaine.  
[www.ccasia.teri.res.in/default.htm](http://www.ccasia.teri.res.in/default.htm)

### US Global Change Research Program

On trouve sur le site l'ensemble des rapports des différentes agences américaines concernées

par le changement climatique. Pour les spécialistes.  
<http://www.usgcrp.gov/>

### US Department of State

Le site propose de nombreux documents sur le réchauffement climatique et la position américaine dans les négociations.  
<http://usinfo.state.gov/climate/>

### La convention climat

Le site officiel avec de nombreuses ressources, certaines tout public, d'autres moins.  
[www.unfccc.de/resource/index.html](http://www.unfccc.de/resource/index.html)

### COPVI

Le site de la sixième conférence des parties à la convention climat : les principales positions, les principaux développements. On trouve aussi une section grand public sur ce que chacun peut faire et le réchauffement climatique expliqué aux enfants.  
<http://cop6.unfccc.int/modules/none.asp?pageid=16>

### OECD Sustainable Transports

La vision OCDE du transport durable, l'analyse des politiques nationales, etc. De nombreux documents en ligne.  
[www.oecd.org/env/ccst/st/index.htm](http://www.oecd.org/env/ccst/st/index.htm)

### Changing the Earth Climate for Business

Une campagne conjointe de la Banque mondiale et du G8 pour promouvoir l'engagement des industriels et pour réduire l'utilisation de l'énergie fossile.  
[www.seen.org/wbreport1/index.html](http://www.seen.org/wbreport1/index.html)

### OMS

Le discours de Gro Harlem Brundtland, directrice de l'OMS, sur l'impact des changements climatiques sur la santé.  
[www.who.int/director-general/speeches/1999/french/19990323\\_wmo.html](http://www.who.int/director-general/speeches/1999/french/19990323_wmo.html)

### Reporting on Green House Gaz Emissions

Le ministère britannique des Transports propose

en ligne une méthode d'évaluation des émissions à l'usage des entreprises. Intéressant.  
[www.environment.detr.gov.uk/envrp/gas/index.htm](http://www.environment.detr.gov.uk/envrp/gas/index.htm)

### International Energy Agency (IEA)

Les principales données du World Energy Outlook sont disponibles sur le site : qui consomme du carbone, qui en émet... Signalons aussi la revue par l'IEA des 400 mesures prises par les pays développés depuis 1999 en vue de lutter contre l'effet de serre « Dealing with Climate Change ».  
[www.iea.org/weo/index.htm](http://www.iea.org/weo/index.htm)

### L'effet de serre

Le site d'un citoyen informé qui a pris la peine de résumer ou de faire résumer dans des textes clairs l'état des connaissances et des négociations.  
[http://membres.tripod.fr/frederic\\_decker/meteo-10.html](http://membres.tripod.fr/frederic_decker/meteo-10.html)

### Weatherwane

Un forum électronique d'information animé par l'ONG américaine Resources for the Future. On y trouve des dépêches sur les négociations climatiques et les actions nationales et internationales. Pour ceux qui veulent aller plus loin.  
[www.weatherwane.rff.org/](http://www.weatherwane.rff.org/)

### Linkage

Le suivi de la négociation climatique par l'International Institute

for Sustainable Development. Pour ceux qui veulent tout savoir.  
[www.iisd.ca/climate/index.html](http://www.iisd.ca/climate/index.html)

### American Bioenergy Association

Tout sur la biomasse et les énergies végétales. Par et pour des militants.  
<http://www.biomass.org/>

### ECO

Le bulletin d'information sur les négociations internationales du Climate Action Network est disponible en ligne.  
[www.climateactionnetwork.org/ecol/](http://www.climateactionnetwork.org/ecol/)

### CAN

Pour connaître toutes les ONG et toutes les actions entreprises par le Climate Action Network.  
[www.climateactionnetwork.org/](http://www.climateactionnetwork.org/)

### Greenpeace

Un dossier sur le changement climatique, les

expéditions polaires Greenpeace et sa campagne climat.  
[www.greenpeace.org/~climate/](http://www.greenpeace.org/~climate/)

### WWF

Un dossier équivalent par le WWF et une campagne pour sauver l'habitat des ours polaires.  
[www.panda.org/climate/](http://www.panda.org/climate/)

### Klimatschutzaktion Nordlicht

Une campagne allemande pour promouvoir en Europe des alternatives au trafic routier et à la consommation effrénée d'énergie. Un site militant et multilingue.  
[www.nordlicht.uni-kiel.de/hpfra.htm](http://www.nordlicht.uni-kiel.de/hpfra.htm)

### Climate Network Europe

Le site de la coordination de 80 ONG européennes militant pour un engagement plus important des autorités

européennes en faveur du climat.  
[www.climnet.org/](http://www.climnet.org/)

### Pacific Institute

Site d'une ONG spécialisée depuis 1987 dans l'étude des phénomènes de développement, d'environnement et de sécurité. Le site offre de nombreux documents en ligne concernant le changement climatique et ses impacts aux Etats-Unis, notamment concernant l'eau.  
[www.pacinst.org/](http://www.pacinst.org/)

# Petit Forum climatique

Scientifique

## Le GIEC

L'essentiel des travaux du groupe international (d'experts) sur le changement climatique y est téléchargeable.  
[www.ipcc.ch/](http://www.ipcc.ch/)

## Le site de Jean-Marc Jancovici

Un consultant indépendant spécialisé dans l'effet de serre et l'utilisation de l'énergie. Une série d'information à destination de tous et à l'encontre de pas mal d'idées reçues. Eclairant et rafraichissant.  
<http://manicore.com/>

## Union of Concerned Scientists

ONG créée en 1969, l'UCS allie des accès privilégiés aux connaissances scientifiques et un travail de lobby auprès des décideurs et d'information des citoyens. Le site propose des réponses tout public sur le réchauffement climatique et les actions à entreprendre ainsi que des liens pour aller plus loin.  
[www.ucsusa.org/](http://www.ucsusa.org/)

## Vital Climate Graphics

Site sponsorisé par le PNUD. Il offre de nombreuses représentations graphiques des résultats scientifiques concernant le changement climatique. Une très bonne ressource pédagogique.  
[www.grida.no/climate/vital/](http://www.grida.no/climate/vital/)

## The Small Islands Information Network

Réseau basé au Canada, il relie les universitaires qui partout dans le monde travaillent sur les biotopes et les cultures des petites îles. On trouve notamment des informations sur l'impact des changements climatiques.  
[www.upei.ca/~siin/index.html](http://www.upei.ca/~siin/index.html)

## TIEMPO Climate Cyberlibrary

Une revue de la littérature scientifique sur le changement climatique, des outils de recherches multicritères. On trouve aussi le bulletin Tiempo qui se concentre sur les effets du réchauffement

sur les pays les plus pauvres. Une ressource incontournable.  
[www.cru.uea.ac.uk/tiempo/](http://www.cru.uea.ac.uk/tiempo/)

## National Institute for Environmental Studies

Centre de recherches publiques japonais, le NIES offre en ligne, entre autres, une évaluation de l'impact du changement climatique sur les îles japonaises.  
<http://info.nies.go.jp/>

## Education à l'adaptation

Le gouvernement canadien soutient des recherches sur l'adaptation. Ce site présente les bases de ce projet de réflexion collective et sociale sur comment réagir aux événements climatiques extrêmes.  
[www.msc-smc.ec.gc.ca/airg/alp\\_f.htm](http://www.msc-smc.ec.gc.ca/airg/alp_f.htm)

## Climate Change Assistance

Site de l'Université libre d'Amsterdam sponsorisé par le PNUD. Il contient de nombreuses études

d'impact du changement climatique aux Pays-Bas mais aussi en Asie.  
[www.vu.nl/ivm/research/climatechange/](http://www.vu.nl/ivm/research/climatechange/)

## Images autour du climat

Des ressources photographiques assez complètes sur les climat sur le site du CNRS.  
[www.cnrs.fr/dossiers/dosclim/imag/imagcli2.htm](http://www.cnrs.fr/dossiers/dosclim/imag/imagcli2.htm)

## National Oceanographic and Atmospheric Administration

Site américain de climatologie : d'énormes ressources en terme d'informations.  
[www.noaa.gov/](http://www.noaa.gov/)

## Abonnez-vous au Courrier de la planète

### Résident France et UE (1 an, 6 numéros)

- 1) normal (240 FF)
- 2) soutien et institutions (500 FF).
- 3) étudiants (180 FF) sur présentation de la carte.

### Résident hors UE (port avion compris le cas échéant).

Ajouter 50 FF au tarif choisi.

Nom et prénom :

Adresse :

Code postal :

Pays :

Facture souhaitée :  oui  non

### Bulletin d'abonnement à retourner à :

**Courrier de la planète**

**Parc scientifique Agropolis - Bât. 14**

**34397 Montpellier cedex 5 - France.**

**Tél. : +33 (0)4 99 23 22 80**

**Fax : +33 (0)4 99 23 24 60**

**E-mail : e.galtier@solagral.asso.fr**

**www.solagral.org**