

vivre

ou

Survivre?



Un état des lieux
de notre planète

lannoo

Institut royal
des Sciences naturelles
de Belgique



PASCALE CORTEN-GUALTIERI est docteur en biologie de l'Université Catholique de Louvain. Elle a défendu, en 1995, une thèse de doctorat consacrée à la pédagogie et à la vulgarisation des sciences. Son expérience de l'assistanat universitaire, sa formation à l'écriture de presse et, dernièrement, sa fonction de commissaire d'exposition à l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, s'inscrivent dans un projet global de communication des savoirs scientifiques.

PHILIPPE VAN HAVER est docteur en chimie et a suivi une formation en écologie. Pendant quelques années, il a effectué des recherches dans le cadre du problème de l'ozone, en tant que collaborateur scientifique de l'Institut Royal Météorologique de Belgique. Il a ensuite été attaché à l'Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique, à titre de commissaire scientifique.

Les experts **EDWIN ZACCAÏ** et **WALTER DE JONGE** travaillent respectivement aux centres d'études du Développement durable de l'ULB et de la RUG.

vivre
ou
survivre?



vivre OU survivre ?

Un état des lieux
de notre planète

Pascale Corten-Gualtieri

Philippe Van Haver

Walter De Jonge

Edwin Zaccai

lannoo

Institut royal
des Sciences naturelles
de Belgique



*Nous tenons à remercier chaleureusement les personnes et institutions
qui nous ont permis de réunir les informations nécessaires à l'écriture
de ce catalogue, et en particulier :*

Prof. M. Baguette (UCL)
Dr. G. Billen (CNRS)
Dr. F. Billiet (Jardin botanique national de Belgique)
Monsieur F. Braem (ULB)
Madame D. Defrise (IGÉAT-ULB)
Dr. H. De Backer (IRM)
Dr. D. De Muer (IRM)
Dr. Ph. Huybrechts (VUB)
Dr. Laitat (FUSAGX)
Ir. Ch. Laurent
(Ministère de la Région Wallonne, DGRNE, DNF)
Ir. J.-P. Ledant (Consultant en environnement)
Prof. B.-P. Louant (UCL)
Dr. P. Meire (Instituut voor Natuurbehoud)
Monsieur L. Misson (UCL)
Monsieur G. Pichot (IRScNB, UGMM)
Prof. J. Poesen (KUL)
Ir. P. Vanderstraeten (IBGE)
Prof. J.-P. van Ypersele (UCL)
Franz Weissen (FUSAGX, IRSIA)

*L'exposition « vivre ou survivre ? »
a été réalisée avec l'aide et le soutien :*

des Services fédéraux des affaires scientifiques
techniques et culturelles
la Loterie Nationale
la Région de Bruxelles-Capitale
la Région Wallonne
la Communauté Flamande
Belgacom
Electrabel
la Générale de Banque
PetroFina
Solvay

 { **MICHÈLE ANTOINE**
Muséographe
Coordinatrice de l'exposition

Introduction

Le prochain siècle est à nos portes, et avec lui le prochain millénaire. Pour tous, il s'agit d'un passage symbolique. Charnière entre hier et demain, c'est le lieu des bilans et des projets. Et lorsque nous scrutons le ciel lourd de menaces, les eaux troubles et tristes, la terre exténuée ou le grand livre lacéré de la biodiversité, une question s'impose: «Quel est le futur de notre planète et de ses habitants?» ou, plus simplement, «Dans quel monde voulons-nous vivre?»

Ces questions ne sont pas neuves. Depuis les années 60, une «conscience environnementale» s'est en effet peu à peu forgée, souvent diffuse mais incontestable. Progressivement, les êtres humains prennent conscience de leur influence déterminante sur l'ensemble des écosystèmes: la planète n'est ni une source inépuisable ni une poubelle sans fond. Mais une course contre le temps a commencé. L'environnement est désormais partie prenante de nos actes. Plus nous tarderons à en tenir compte, plus le prix à payer pour habiter un monde vivable sera élevé.

L'humain ne peut plus désormais se considérer comme extérieur à la Nature, la maîtrisant par un savoir et des techniques dont il pourrait se glorifier; il est en son sein, dans un rapport de dépendance mutuelle. Une nouvelle sensibilité écologique voit donc le jour. Il semble désormais nécessaire de penser autrement le rapport de l'Homme au monde. Et «penser autrement», cela veut dire évaluer à tous niveaux les risques encourus par la planète afin de savoir comment les limiter. Cela signifie arrêter son regard sur des objets de savoir nouveaux, admettre la complexité et l'opacité des phénomènes, remplacer «certitudes» par «possibilités» et accepter que tout ne soit pas explicable... sans que tout cela ne remette l'action à plus tard!



Apprendre à penser autrement, certes... Mais il importe aussi de modifier nos modes d'intervention sur la planète. L'urgence d'agir est là – même si, dans certains cas, on croit parfois qu'il est trop tard. Par ailleurs, les problèmes environnementaux redistribuent les cartes de la prise de décision. Ils suscitent de nouvelles expériences collectives qui tendent à redéfinir le bien public, et attribuent aux experts une voix parmi d'autres – celles des politiques, des lobbyistes, des chercheurs de toutes les disciplines, des citoyens... Nouvelle donne, qui en vient à bouleverser nos habitudes et nos attitudes. Mais malgré la grande diffusion des enjeux environnementaux par les médias, l'incompréhension règne en maître. L'environnement reste encore principalement l'affaire de spécialistes et de groupes de pression. Beaucoup de chemin reste à faire pour qu'il devienne l'objet d'un savoir partagé et mobilisateur.

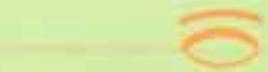
C'est ici que l'institution muséale entre en scène, à la fois comme établissement scientifique et comme instance éducative. Son rôle? Tracer un cadre de référence qui donne sens et intelligibilité aux questions environnementales. Mais pour un musée, cela signifie s'aventurer sur le terrain de la controverse, domaine du mouvant et de l'incertain, alors qu'il est habitué à exposer des connaissances stabilisées, des savoirs prouvés et éprouvés.

Il importait donc de procéder avec prudence. Nous nous sommes alors mis à l'écoute. A l'écoute des scientifiques, bien sûr, qui nous ont fait part des résultats de leurs analyses autant que de leurs questionnements. A l'écoute des pouvoirs publics et des entreprises qui, tant bien que mal, tentent de répondre aux défis du respect de l'environnement. Mais également à l'écoute de notre public, des jeunes en particulier. Et ceux-ci ont témoigné non seulement de leurs difficultés à comprendre et de leur désir d'agir, mais aussi de leur immense peur face à un avenir qu'ils voient sombre et sans espoir.

Dans la conception de l'exposition «Vivre ou Survivre?», nous avons tenu à prendre au sérieux cette inquiétude manifeste. Plutôt que de la nier en semant des propos rassurants, nous sommes partis d'elle, la considérant comme légitime. Et nous en avons fait le point de départ de notre scénario. Dès ses premiers pas dans l'exposition, le visiteur est donc projeté en 2050, dans un monde pollué, secoué par des remous sociaux, invivable: dans une ville où personne n'a pris l'environnement en considération. Cet exercice périlleux de projection dans le futur, basé sur l'extrapolation de scénarios «business as usual», démontre à l'envi les conséquences de la passivité, de l'inaction en matière d'environnement.

Le retour à notre époque est marqué par l'affirmation que ce monde – fictif! – de 2050 n'est pas le destin inéluctable de la planète, qu'il est possible de construire un autre monde pour demain, mais que pour cela il faut s'informer et chercher à comprendre pour pouvoir ensuite agir de manière adéquate.

S'informer et comprendre... aller voir ce qui se passe sur le terrain, dans différents écosystèmes plus ou moins interdépendants. C'est ce que le visiteur va faire dans le tour du monde auquel il est convié dans la suite du parcours: Bruxelles, les forêts ardennaises, les Alpes et leurs glaciers, l'Amazonie, l'Antarctique, puis la Belgique de nouveau, avec l'Escaut et la Mer du Nord. A chaque étape, un thème particulier – pollution de l'air, changements climatiques, déforestation, etc. – exploré dans ses multiples facettes. Chacune des étapes de ce voyage a été choisie en raison de son caractère emblématique ou du lien de proximité avec les visiteurs (il fallait en effet insister sur le fait que les problèmes environnementaux, «ça arrive aussi près de chez nous»). Le choix de certaines étapes est cependant relativement arbitraire; elles auraient pu être tout autres. Mais dans la mesure où les problèmes évoqués se retrouvent à des degrés divers partout sur la planète, un choix s'imposait.



De retour de voyage, le visiteur retrouve ses bagages, les éléments de sa vie quotidienne. L'heure est aux bilans, à l'analyse et à la recherche d'alternatives. Après avoir été invité à penser globalement, le visiteur cherche maintenant comment il peut agir localement. Ainsi, le développement durable cesse d'être un mot vague découvert aux détours d'un article de journal ou entendu rapidement dans un discours. Il prend forme dans les gestes de la vie, dans la manière de se penser, de se projeter dans l'avenir, d'interagir avec les autres, individuellement et collectivement.

Le parcours du visiteur se termine dans un parlement, lieu de débats où des décisions concernant la qualité de notre environnement doivent se prendre, ensemble. Participant aux discussions et aux différents votes, le visiteur apprend combien les enjeux sont complexes. De la sorte, nous voulons affirmer l'idée que la définition d'un projet collectif n'est pas dans les seules mains des gouvernements, des groupes de pression ou des experts, ou même des seuls citoyens, mais dans l'interconnexion de ces forces et que l'avenir doit se construire selon de multiples voix et de voies multiples.

En cela, l'exposition «Vivre ou Survivre ?» diffère de bien d'autres où généralement «on donne à voir» plus que l'on donne à

réfléchir, à questionner ou à chercher. Ici, l'exposition ne doit pas être contemplée, ni même admirée, mais utilisée, dépassée.

Cet ouvrage - tout comme l'exposition dont il constitue le catalogue - présente le bilan de santé de notre planète en cette fin de millénaire, et dégage des pistes de réflexion. Il ne propose pas des recettes ou des règles d'or, mais bien des outils de travail pour comprendre notre environnement aujourd'hui, et essayer d'en faire, demain, un monde dans lequel il soit possible de vivre et non uniquement de survivre. Les textes rassemblés ici par les divers commissaires scientifiques de l'exposition ont inévitablement été influencés par le processus de mise en exposition. Ils suivent d'ailleurs assez fidèlement la structure narrative de l'exposition (choix des exemples, succession des thèmes, etc.). Mais ils peuvent vivre sans elle, en tant que documents de référence.

Ce catalogue - pas plus que l'exposition - ne vise pas à tirer la sonnette d'alarme, d'autres l'ont fait avant nous avec un certain succès, et ces Cassandres modernes ont su nous dépeindre un monde plein de menaces. Nous ne cherchons pas non plus à dépeindre un monde utopique, idéal, angélique, «le monde-tel-qu'il-devrait-être», beau, harmonieux, sans conflit et équitable. Qui nous croirait? Où pour-

rions-nous trouver la légitimité d'un tel discours? Privilégiant la lucidité des constats et la nuance des propos, notre entreprise se veut une préparation à l'action, les pieds ancrés dans le réel et le regard rivé sur demain.

Bruxelles

Vivre dans une grande ville

| La pollution atmosphérique

Introduction

Le vingtième siècle aura sans aucun doute représenté une période de changements fulgurants et radicaux. En dehors des énormes progrès économiques et industriels réalisés, c'est surtout l'explosion démographique mondiale qui frappe. Depuis le XVIII^e siècle, la population mondiale s'est multipliée par huit, et l'âge moyen a doublé. Alors qu'en 1950, la population mondiale n'atteignait «que» 2,5 milliards, nous atteignons pratiquement aujourd'hui les 6 milliards! Chaque jour, 250.000 enfants naissent! Cette croissance démographique est, en plus, principalement enregistrée dans les grandes villes, transformées dès lors en de gigantesques mégalopoles où des millions d'individus tentent de survivre dans des conditions parfois extrêmement pénibles. Actuellement, plus de 2 milliards d'hommes (45% de la population mondiale) vivent en zone urbaine. Parmi ces villes gigantesques, citons Mexico (22 millions d'habitants), São Paulo (21 millions), Tokyo (21 millions) et Calcutta (14 millions).



Ces millions de personnes ont évidemment besoin d'énergie, de nourriture, de transports, d'eau potable, de logements, de travail, etc. La quantité mondiale d'énergie produite par les centrales électriques à partir de combustibles fossiles, a ainsi doublé au cours des années 80. Pour satisfaire la demande de mobilité de la population, 100.000 voitures neuves quittent quotidiennement les usines de montage (soit 1 voiture par seconde!) pour s'engouffrer dans les villes déjà paralysées par les embouteillages. Cette évolution ultra-rapide entraîne inévitablement une pollution considérable de l'air. De ce fait, dans le monde entier, des centaines de millions de personnes vivent dans un environnement urbain fortement pollué, provoquant tous les ans des dizaines de milliers de décès prématurés ou de maladies graves.

LA POLLUTION DE L'AIR N'EST PAS UN PHÉNOMÈNE NOUVEAU. LA SITUATION N'ÉTAIT SANS DOUTE GUÈRE PLUS BRILLANTE DANS LE TEMPS... LE BORINAGE AU SIÈCLE DERNIER.



La pollution atmosphérique n'est pas un phénomène récent. Au début du XIV^e siècle déjà, le roi d'Angleterre Edouard Ier avait interdit l'usage du charbon, en raison de l'odeur et des fumées noires produites, et tout contrevenant était exécuté. Toutefois, la pollution de l'air était un phénomène somme toute exceptionnel. Mais depuis la révolution industrielle, il y a deux cents ans, il s'est généralisé dans les grandes villes.

1 MILLIARD DE VOITURES

Le nombre de voitures qui circuleront sur notre planète vers l'an 2030 est évalué à plus d'un milliard. En 1990, ce chiffre n'atteignait encore que 650 millions. Cette croissance est supérieure à celle de la population mondiale, et est principalement due à l'expansion colossale des pays en voie de développement. Ainsi, en Thaïlande, en Corée et au Kenya, le nombre de véhicules automobiles progresse chaque année de près de 30%. En Chine, pour 1,2 milliard d'habitants, il y a dix ans, le nombre de vélos en circulation atteignait 400 millions pour 700.000 voitures et 5 millions d'autres véhicules à moteur. Ces chiffres sont inférieurs à ceux d'une grande ville occidentale de taille moyenne. A l'heure actuelle, la Chine (et l'Inde) développent toutefois considérablement leur industrie automobile, et l'impact de cette évolution sur le nombre de véhicules automobiles par rapport au total mondial sera énorme. La Chine, par exemple, a l'intention de porter sa production automobile à trois millions de voitures par an, au cours du siècle prochain!

En quoi consiste l'air pollué?

En dehors d'une quantité variable de vapeur d'eau (entre 0 et 7%), 99,995% de l'air, qu'il soit pur ou vicié, se compose d'azote (N₂ 78,1%), d'oxygène (O₂ 20,9%), d'argon (Ar 0,93%) et de dioxyde de carbone (CO₂ 0,035%).

L'air contient également des quantités infinitésimales (<0,002%) de gaz inertes (néon, hélium, krypton, xénon) et de méthane (0,0001%). On considère que l'air



POLLUTION DE L'AIR CATASTROPHIQUE À BANGKOK. LE PORT D'UN MASQUE EST FORTEMENT RECOMMANDÉ AUX PERSONNES RESTANT EXPOSÉES LONGTEMPS À CETTE POLLUTION.

est pollué quand, en plus, d'autres gaz (SO₂, CO, NO, ...) ou des particules (suie, poussière) sont présents en quantités non négligeables. Le total des éléments polluants atteint rarement plus de 0,001%, même dans les régions les plus polluées. Les dommages que ces toutes petites quantités peuvent occasionner à la santé publique, à la flore et à la faune, sont par contre démesurés.

Les principaux éléments polluants dans un environnement urbain sont les oxydes d'azote (NO + NO₂), les hydrocarbures, le monoxyde de carbone (CO), l'ozone (O₃), le dioxyde de soufre (SO₂) et les particules en suspension. Même si ces éléments se trouvent aussi naturellement dans l'air, leur concentration dans l'agglomération bruxelloise est facilement cinquante fois supérieure à celle de régions lointaines où l'on peut parler d'air à peu près «pur». Dans des situations d'alerte, la quantité de certains polluants peut être mille fois plus élevée que la concentration atmosphérique de base, avec toutes les conséquences néfastes qui s'ensuivent pour la santé.

MESURE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE À BRUXELLES

La qualité de l'air bruxellois est contrôlée depuis 1968, principalement dans le contexte de la santé publique. Ce contrôle est en outre imposé par quelques Directives européennes. D'une part, depuis 1968, un réseau de mesure semi-automatique couvrant toute la Belgique, surveille la concentration de SO₂ et de particules en suspension dans plusieurs lieux. Sur le territoire de la Région de Bruxelles-Capitale, onze postes de mesure sont fonctionnels. D'autre part, depuis 1978, un réseau téléométrique entièrement automatique, opérationnel en divers endroits, suit de près la concentration de différents polluants (SO₂, NO_x, ozone, hydrocarbures, particules, ...) Ce réseau comprend sept stations de mesure en région bruxelloise (dont une station mobile) et deux stations dans les environs immédiats. Il effectue un contrôle permanent relativement précis de la situation et de l'évolution de la qualité de l'air dans la capitale. Il permet aussi un suivi attentif et des études de certains phénomènes de pollution.

Qui émet quoi?

Pour contrôler le plus efficacement possible la pollution atmosphérique dans la Région de Bruxelles-Capitale, il faut savoir qui est responsable de l'émission de quel polluant. En fait, les principaux responsables de la pollution de l'air sont la circulation et, dans une moindre mesure, le chauffage domestique. Les principaux polluants sont les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques, le monoxyde de carbone (CO), l'ozone (O_3), le dioxyde de soufre (SO_2) et les particules en suspension.

NO_x

L'émission de NO et de NO_2 , désignés conjointement par « NO_x », provient de divers processus de combustion. L'utilisation de combustibles fossiles par les moteurs automobiles, le chauffage industriel et domestique, se traduit par une température élevée, qui entraîne une réaction entre le N_2 et l' O_2 de l'air, qui se traduit

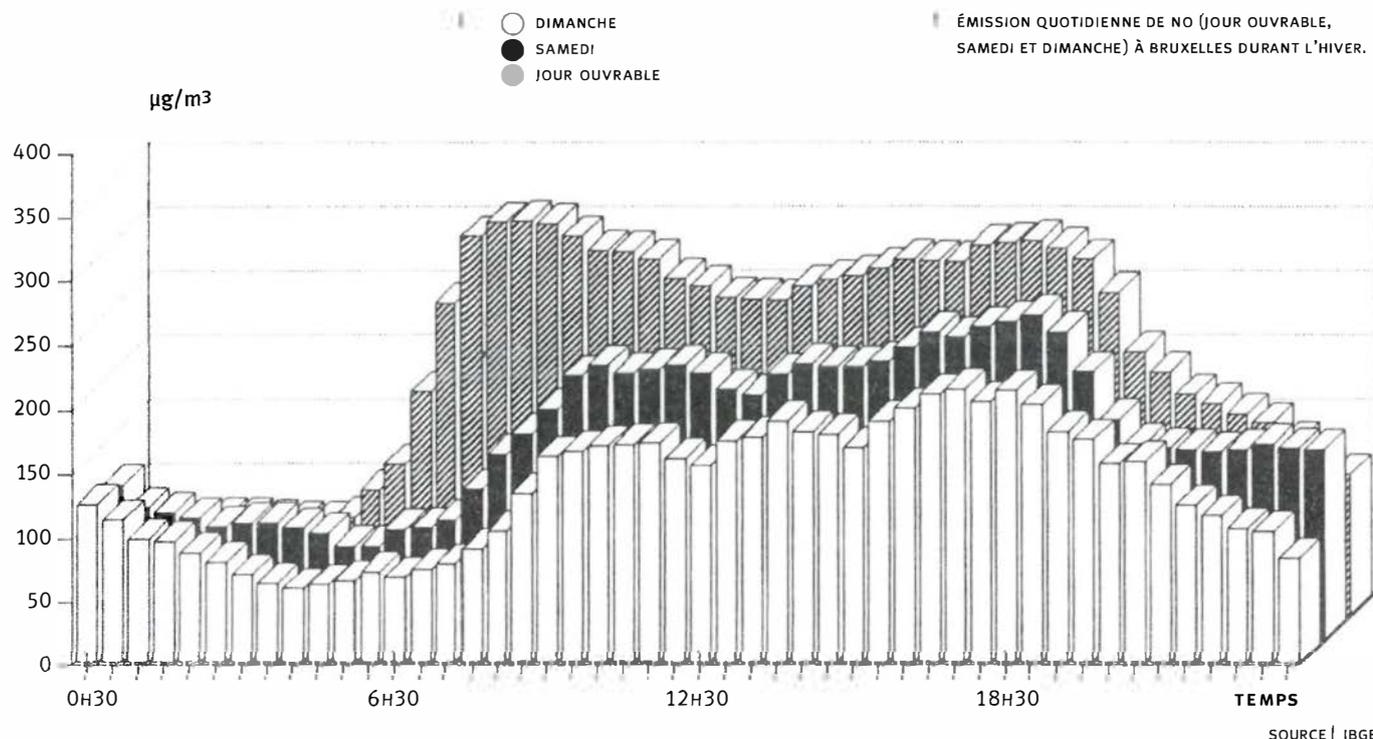
par la formation de NO . Ce NO peut alors former du NO_2 . Le NO expulsé en grande quantité par les automobiles est un indicateur typique de la circulation. Sa concentration varie avec l'intensité du trafic: le maximum est atteint aux heures de pointe, le matin et le soir, et le minimum pendant la nuit et les week-ends. Un examen attentif de l'illustration ci-dessous permet même de déduire les habitudes de l'utilisateur type: sortie le samedi soir, grasse matinée le week-end, etc.

Chaque année, environ 18.000 tonnes de NO_x polluent l'air de la région bruxelloise, la circulation étant responsable des trois-quarts des émissions. Le chauffage domestique couvre de son côté 15% de cette pollution, tandis que les 10% restants proviennent de l'incinérateur de déchets ménagers de Neder-Over-Heembeek, de l'industrie et du secteur tertiaire.

Composés organiques (hydrocarbures)

Le terme «composés organiques» désigne deux types de substances: les composés organiques volatils et les hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Les composés organiques volatils (COV) présents dans l'air de Bruxelles proviennent principalement de la circulation routière. Ils sont relâchés dans l'atmosphère notamment par l'évaporation ou la combustion incomplète des combustibles utilisés par les véhicules à moteur. Quelques activités industrielles dans lesquelles interviennent des produits organiques volatils (solvants organiques dans les installations de peinture, imprimeries,...) y contribuent également. Certains de ces composés organiques (benzène, toluène et xylène) nécessitent une attention particulière, en raison de leurs propriétés extrêmement toxiques et cancérigènes. Tout comme pour le NO , les concentrations les





LORS DU REMPLISSAGE DU RÉSERVOIR, ÉVAPORATION IMPORTANTE D'ESSENCE, UN PRÉCURSEUR DE L'OZONE.

plus élevées de COV sont enregistrées à proximité des artères où le trafic est dense. La circulation routière est également responsable de la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans l'air de la capitale. Ces HAP (dont le benzopyrène est le plus étudié) trouvent également leur origine dans la combustion incomplète des combustibles fossiles, et sont donc particulièrement concentrés dans les zones de grand trafic. Ces composants peu volatils se fixent aisément sur des particules solides (comme la suie). Etant donné que ces hydrocarbures sont en général toxiques et parfois même cancérogènes, les innombrables particules en suspension dans l'air deviennent très dangereuses pour la santé. La circulation routière dans les villes rejette aussi de petites quantités de dioxines, extrêmement cancérogènes.

À l'exception du méthane, la production annuelle de COV dans la région bruxelloise est estimée à environ 25.000 tonnes, dont près des 4/5^e sont dus au trafic routier. L'usage de solvants ajoute près de 5.000 tonnes à ce chiffre.

PLUS COOL EN VILLE

Il ressort d'une étude scientifique réalisée par l'Établissement flamand de recherche scientifique (le Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek, ou VITO), qu'une conduite «sportive» en ville occasionne l'émission de deux fois plus de CO et de cinq fois plus d'hydrocarbures qu'une conduite modérée. Avec un catalyseur, une conduite sportive rejette dix fois plus de CO qu'une conduite modérée.

De plus, elle entraîne une augmentation de la consommation de carburant de 30 à 50% pour une vitesse moyenne à peine plus élevée.

CO

Tout comme pour les HAP et les dioxines, le CO est produit par la combustion incomplète de combustibles carbonés, due principalement à un manque d'oxygène dans la chambre de combustion. La variation journalière de la

HEURES DE POINTE

La concentration de CO dans le centre-ville est supérieure pendant les heures de pointe de la soirée, bien que le nombre de voitures qui quittent Bruxelles en fin de journée soit le même que celui qui pénètre dans la capitale le matin (figure 3). C'est que le soir, les voitures effectuent le plus souvent de trajets courts (quelques minutes), pendant lesquels les moteurs n'ont pas le temps de chauffer. A cause de ces moteurs «froids», la combustion du carburant n'est pas optimale, d'où un rejet important de CO. Par opposition, les voitures «chaudes» qui entrent en ville le matin transforment facilement le CO produit en CO₂. Et si le pic du soir est plus prononcé en hiver qu'en été, c'est parce que, pendant la belle saison, la formation d'ozone absorbe une partie du CO, et aussi parce les conditions atmosphériques hivernales freinent la propagation des polluants.

concentration de CO à Bruxelles est comparable à celle de la concentration de NO, et suit l'intensité variable de la circulation. Dès lors, cette concentration de CO est la plus importante durant les jours ouvrables. Néanmoins, alors que l'émission de NO s'amplifie quand les voitures roulent plus vite, celle de CO atteint des pics lorsque les véhicules sont à l'arrêt ou avancent lentement.

La circulation dans la région bruxelloise rejette 50.000 tonnes de CO par an, soit plus de 75% du total émis. En outre, 10.000 tonnes de CO proviennent de l'industrie, de l'incinération des déchets ménagers et du chauffage

Ozone

Bien qu'il se trouve aussi dans l'atmosphère (stratosphère et troposphère) à l'état naturel, ainsi qu'au niveau du sol, l'ozone est un polluant secondaire. Cela signifie qu'il n'est pas émis directement par l'une ou l'autre source. En fait, c'est sous l'influence d'un rayonnement solaire intense, que l'ozone se forme à partir d'une série de polluants primaires préexistants: NO₂, hydrocarbures, CO, etc.



LES VOITURES PRODUISENT UN COCKTAIL DE GAZ TOXIQUES: NO_x, CO, HYDROCARBURES,...



LE CHAUFFAGE EST RESPONSABLE DE 35% DES ÉMISSIONS DE SO₂ À BRUXELLES.

SO₂

La principale source de SO₂ en ville est la combustion de combustibles fossiles soufrés comme le charbon, le mazout et le gas-oil. Quelques processus industriels aussi, dont le raffinage du pétrole, contribuent à l'émission de ce gaz dans l'atmosphère. C'est entre octobre et mars que les émissions de SO₂ atteignent leur apogée.

Car à cette époque de l'année, la consommation de combustibles fossiles pour le chauffage domestique est importante. La quantité annuelle de SO₂ émise dans l'air de Bruxelles approche les 5.000 tonnes. L'incinérateur de Neder-Over-Heembeek en produit 36%, le chauffage des bâtiments 35% et la circulation 26%. Les 3% restants proviennent de l'industrie.

Fumée noire, particules en suspension et poussières

L'air contient une quantité infinie de particules en suspension (dont la taille peut varier d'1 milliardième de mm à 1/10^e de mm), plus ou moins toxiques pour l'homme et le milieu selon leur format et leur composition. Parmi ces particules: de la suie, de la poussière, des cendres volantes, des fibres d'amiante, des métaux lourds, des gouttes d'eau, etc. A l'origine de leur

présence en zone urbaine: les processus de combustion utilisant entre autres du charbon et du pétrole.

Les particules en suspension ne proviennent cependant pas toujours des cheminées des usines ou des moteurs diesel. Des gaz ou des vapeurs (combustibles partiellement brûlés ou non brûlés, solvants des peintures) arrivent en permanence dans l'air. En présence d'une faible quantité de lumière solaire, ces gaz peuvent réagir avec d'autres substances chimiques présentes dans l'atmosphère, et former de fines particules.

Des mesures effectuées dans des villes très polluées prouvent que l'air y contient jusqu'à 5.000 fois plus de particules en suspension que dans les zones éloignées, «pures».

LA POLLUTION AU BOUT DU FIL

Comment connaître le niveau de pollution atmosphérique atteint dans la Région de Bruxelles-Capitale?

Un petit coup de téléphone suffit! Depuis 1990, toute personne intéressée peut en effet contacter le répondeur automatique de l'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), pour recevoir des informations à ce sujet.

Par ailleurs, l'IBGE organise régulièrement des campagnes destinées à informer les habitants et les médias au sujet de certaines formes de pollution atmosphérique.

Enfin, des campagnes de sensibilisation sont également mises sur pied, dans une optique préventive.

UN DÉTERGENT ATMOSPHÉRIQUE

Si certains gaz à l'état de traces restaient dans l'atmosphère sous leur forme d'origine, ils s'accumuleraient et atteindraient des concentrations phénoménales. Ce processus est heureusement évité grâce à la présence de radicaux OH*.

Ces derniers réagissent avec la plupart des gaz contenant un atome d'hydrogène (H), comme par exemple le méthane et les hydrocarbures, ou oxydent des composés tels que le monoxyde de carbone et le dioxyde de soufre.

Ces réactions rendent les gaz nettement plus solubles dans l'eau. Ils sont donc plus facilement entraînés au sol par la pluie, et disparaissent de l'atmosphère.

Sans les radicaux OH*, la composition actuelle de l'atmosphère serait très différente: elle se caractériserait par une concentration très élevée de polluants dangereux et de gaz responsables de l'effet de serre.

Un cocktail de polluants

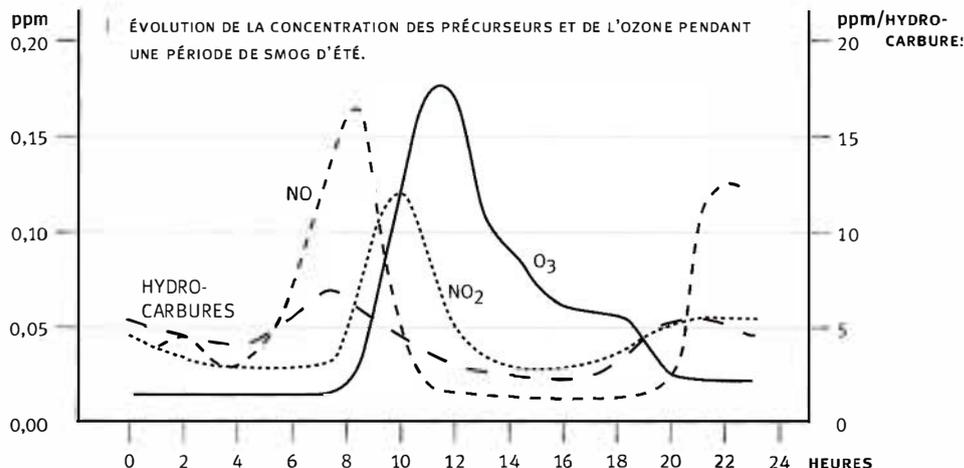
Une personne active aspire en moyenne 12.000 litres d'air par jour. Lors de performances sportives, ce chiffre peut grimper jusqu'à 3.000 litres par heure. La respiration ne fait évidemment aucune distinction entre l'air propre et l'air pollué, de sorte qu'une partie des nombreux polluants et des particules (toxiques) en suspension dans l'air est inhalé à chaque inspiration. Du fait que l'air vicié des villes se compose d'un cocktail toxique, il n'est pas simple de déterminer avec précision quel polluant est responsable de tel problème. Il est toutefois communément admis que la mauvaise qualité de l'air est responsable de toute une série d'affections

immédiates (aiguës) et/ou durables (chroniques): céphalées, fatigue, irritation des yeux, des oreilles et du nez, nausées, inflammations ou affaiblissement des fonctions pulmonaires, problèmes cardiaques, baisse de l'activité intellectuelle, cancers, décès,... Des enfants de moins de trois ans, dont les poumons sont extrêmement fragiles parce qu'en plein développement, peuvent contracter des problèmes respiratoires et des maladies dont ils souffriront toute leur vie. À l'heure actuelle, des millions d'Européens vivent dans des régions où la pollution atmosphérique est suffisante pour provoquer des milliers de décès prématurés et des cas encore plus nombreux de maladies chroniques et d'invalidité. Nous distinguerons deux types de cocktails: le smog d'été et le smog d'hiver. Si leur formation et leur apparition sont très différentes (voire opposées), leurs effets sur la santé sont identiques: néfastes.

| Le smog d'été

Depuis quelques étés, la radio et la télévision nous parlent régulièrement de pics d'ozone. A quel point ces smogs estivaux (ou smogs d'ozone) sont-ils alarmants?

ÉPAIS SMOG D'ÉTÉ AU-DESSUS DE MEXICO CITY. DANS CETTE VILLE PEUPLÉE DE 23 MILLIONS D'HABITANTS, DES CONCENTRATIONS INADMISSIBLES D'OZONE, DE CO ET DE PARTICULES EN SUSPENSION SONT ENREGISTRÉES À PEU PRÈS TOUT AU LONG DE L'ANNÉE. ON ENREGISTRE RÉGULIÈREMENT DES CONCENTRATIONS D'OZONE DE 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ OU PLUS - SOIT PLUS DE TROIS FOIS LE SEUIL JUSTIFIANT L'AVERTISSEMENT DE LA POPULATION EN EUROPE! LES PRINCIPAUX RESPONSABLES SONT LE TRAFIC INTENSE (PLUS DE 3 MILLIONS DE VÉHICULES À MOTEUR) ET L'INDUSTRIE LOURDE. RESPIRER PENDANT 24 H DANS CETTE VILLE REVIENT À FUMER 40 CIGARETTES... PLUS DE 2 MILLIONS DE PERSONNES SOUFFRENT D'AFFECTIONS DUES À LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE.



Le mot smog provient de la contraction de deux mots anglais: «smoke» (fumée) et «fog» (brouillard). En été, le smog se compose d'un mélange d'ozone et de différents produits photochimiques. Ainsi, l'ozone formé peut réagir avec les hydrocarbures présents dans l'air, pour former un éventail de composés organiques, irritants et lacrymogènes. Ces composés sont nocifs pour la santé publique, mais aussi pour la flore et même pour certains matériaux. De plus, quand ces sous-produits se condensent dans l'air, ils forment de minuscules gouttelettes (aérosols) qui, avec les innombrables particules de poussière déjà présentes, donnent naissance à un brouillard incommodant.

Formation de l'ozone

Les principaux coupables à l'origine des concentrations (trop) élevées d'ozone pendant les étés chauds sont les hydrocarbures organiques volatils et le NO - deux éléments qui se trouvent en grandes quantités dans les gaz d'échappement des véhicules à moteur. Quoique la formation de l'ozone photochimique soit un processus très complexe impliquant plus de cent réactions chimiques, elle peut être simplifiée en deux étapes. Au cours de la première, des hydrocarbures organiques volatils réagissent avec le NO de l'air, pour former du NO₂. Sous l'influence d'un ensoleillement intense, et par une réaction avec l'O₂ de l'air, ce NO₂ donne du NO et de l'O₃. C'est la deuxième étape.



Comme les hydrocarbures et le NO précèdent la formation de l'ozone, ils sont appelés précurseurs. L'ozone en lui-même est un polluant secondaire car il n'est pas émis directement par l'une ou l'autre source.

Le processus photochimique décrit pour la formation de l'ozone se retrouve clairement dans les variations journalières des différents composants pendant une période d'ozone photochimique (graphique p.13). Avant le lever du soleil, quand il n'y a pas encore beaucoup de circulation dans la ville, les concentrations des précurseurs (NO, hydrocarbures) sont basses. Dès que le trafic matinal s'amplifie, de grandes quantités de NO et d'hydrocarbures sont émises en quelques heures dans l'atmosphère. Mais les polluants secondaires, le NO₂ et l'O₃, n'atteignent encore que des quantités négligeables, du fait de l'absence de réactions photochimiques. Ce n'est que lorsque le soleil commence à être assez haut dans le ciel, que la quantité de NO₂ se met aussi à grimper. Sous l'influence d'un rayonnement UV intense, quelques heures plus tard, de l'ozone se forme à partir de ce NO₂. La quantité d'ozone atteint son maximum après midi, puis baisse très lentement au cours des heures suivantes. Les heures de pointe du soir envoient une nouvelle masse importante de NO dans l'atmosphère. En l'absence de rayonnement solaire intense, ce NO décomposera enfin l'ozone excessif. (Lorsque

les soirées d'été sont chaudes et claires, ce NO risque toutefois de stimuler encore une fois la formation d'ozone!). Une température élevée (25-35°C) et une humidité atmosphérique basse autour de midi, constituent les conditions idéales pour la formation du smog estival ou «smog de Los Angeles». Un temps très clair (ensoleillé) favorise les réactions chimiques, tandis que les gaz d'échappement (première source de pollution) «assurent» une forte concentration de NO_x, d'hydrocarbures et de poussières. La présence dans l'air de NO₂ (toxique) brun jaune, d'aérosols, de particules, de poussière et d'hydrocarbures non brûlés, partiellement oxydés, est à l'origine du voile brun bleuté qui couvre surtout le ciel des villes à grande circulation. A l'extérieur de la ville, la pollution plus diffuse forme plutôt une brume blanchâtre.

Etant donné que la température représente un facteur très important de la formation d'ozone photochimique, les valeurs les plus élevées se mesurent au niveau du sol entre mai et septembre. D'octobre à avril, la production d'ozone dans nos contrées est

ARBRES POLLUANTS

À côté des sources anthropogènes (d'origine humaine), la nature aussi engendre des hydrocarbures susceptibles de donner lieu à du smog d'ozone. C'est par exemple le cas des conifères: ils émettent des terpènes, un type d'hydrocarbures exhalant une agréable odeur de forêt. En 1542, la baie de San Pedro à Los Angeles était baptisée «Bay of Smokes». En 1868, il fut question pour la première fois d'irritations des yeux, chez les habitants de la baie. Devenu une attraction touristique, le smog bleu observé provenait plus que probablement de la présence dans l'air d'huiles dégagées par les forêts de pins et les bois de citronniers de la baie. La réaction de ces hydrocarbures biogènes (d'origine végétale) avec l'ozone naturel de la troposphère, présent en permanence dans les couches inférieures de l'air en faible quantité, avait entraîné une hausse des concentrations des produits photochimiques lacrymogènes comme le peroxy-acétylnitrate (PAN ou nitrates de peroxyacides). Actuellement, dans certaines villes des Etats-Unis (notamment dans plusieurs faubourgs), les terpènes provenant des bois avoisinants, participent à la formation d'ozone photochimique en été.

PROBLÈME INTERNATIONAL

Une partie de l'ozone photochimique est produite par des NO_x et des hydrocarbures émis la veille en amont et emportés par le vent. Ce sont entre autres les masses d'air chaud continentales et polluées qui favorisent la production d'ozone.

Le problème que connaît la petite Belgique a en fait une origine internationale, car les masses d'air polluées proviennent d'Allemagne, du Luxembourg, de France ou des Pays-Bas. Les mesures destinées à lutter contre le smog d'ozone n'ont par conséquent que peu de sens à l'échelle locale ou même nationale. Elles doivent impérativement être prises au niveau européen.

considérablement limitée, grâce à la lumière solaire insuffisante et aux températures trop basses. Ce n'est par contre pas le cas dans les villes plus méridionales à trafic intense. A Madrid et à Athènes, depuis le début des années 90, des valeurs élevées d'ozone sont parfois enregistrées dès le printemps, pendant les périodes où une zone de haute pression crée des conditions stables et ensoleillées.

Inversion de la température et smog
Dans la troposphère (partie de l'atmosphère située entre la surface de la Terre et la tropopause, à environ 10 km d'altitude), la température baisse lentement avec l'altitude. Dans ces conditions, l'air pollué chauffé au niveau du sol s'élève en emportant les polluants, et les répand en altitude. En cas d'inversion de la température, la couche d'air au niveau du sol étant plus froide que la couche supérieure, l'air pollué ne parvient pas à s'élever. Dès lors, le mélange vertical devient insuffisant (voir figure p.15). Les polluants ne parviennent donc pas à

s'échapper et sont retenus sous une espèce de cloche dans la couche d'air inférieure. La concentration des polluants toxiques augmente alors, jusqu'au moment où l'inversion de température disparaît.

Les inversions de température ont surtout lieu la nuit, quand la surface de la Terre se refroidit plus fort que les masses d'air qui la dominent. Elles disparaissent cependant dans le courant de la matinée, dès que le Soleil se remet à briller. Mais si un anticyclone s'installe au-dessus du pays, les conditions deviennent idéales pour que l'air soit bien pollué. La haute pression de l'atmosphère, dirigée vers le bas, chauffe en effet l'air qui descend et crée de ce fait une forte inversion de température. Tout mélange vertical est dès lors exclu et les polluants s'accumulent sans problème, pour finalement atteindre des quantités dangereuses.

LE SMOG DE LOS ANGELES

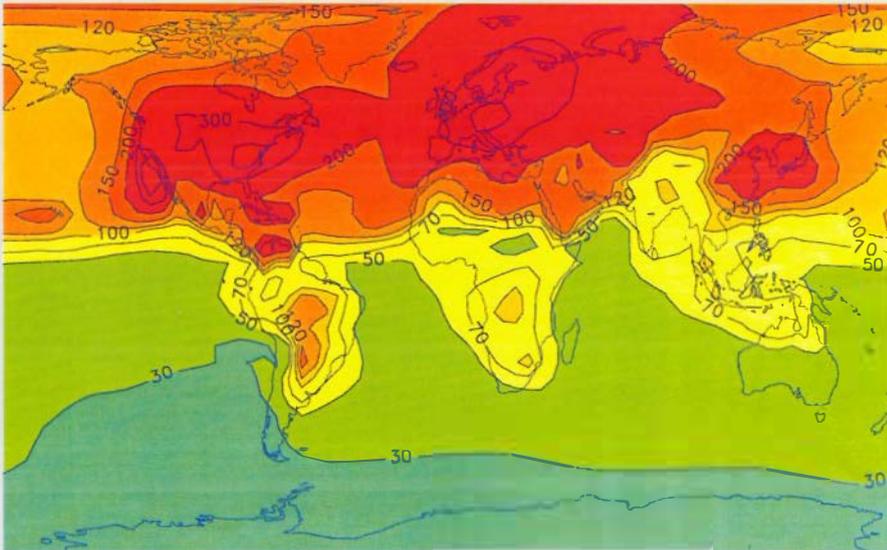
Pourquoi le smog d'été est-il automatiquement associé à Los Angeles (L.A.)? C'est dans ce port, vers le milieu des années 40, quand les industries se mirent à pousser comme des champignons, que fut constatée pour la première fois une sérieuse pollution de l'air qui irritait les yeux, flétrissait les plantes et réduisait considérablement la visibilité. Ce n'est pas par hasard que ce phénomène se produisit à L.A. La ville est située dans une baie qui donne sur le Pacifique, et elle est complètement entourée de montagnes. L'océan froid refroidit la couche d'air inférieure. Cette couche est ensuite poussée vers l'intérieur des terres, et «glisse» sous l'air plus chaud de la baie. Une forte inversion de température se produit alors au niveau du sol, et les polluants présents restent bloqués dans la baie. Les montagnes environnantes aggravent encore la situation, en empêchant les polluants de se répandre horizontalement et de quitter la vallée. De plus, le climat de Los Angeles est très chaud et ensoleillé, et la ville est quotidiennement envahie par des centaines de milliers de véhicules qui envoient dans l'atmosphère les indispensables précurseurs de l'ozone.

Entourée de montagnes qui emprisonnent l'air pollué, la ville subtropicale de Mexico souffre donc considérablement du smog d'été.

Les zones de haute pression s'accompagnant d'un ciel dégagé et de températures élevées le jour, la formation de smog photochimique est fâcheusement favorisée.

UNE INVERSION DE TEMPÉRATURE EMPÊCHE LES POLLUANTS DE S'ÉCHAPPER VERS LES COUCHES SUPÉRIEURES DE L'ATMOSPHÈRE ET LES RETIENT AU NIVEAU DU SOL, COMME SOUS UNE CLOCHE (MEXICO CITY).





MODÈLE DE L'ACTUELLE CONCENTRATION D'OZONE AU NIVEAU DU SOL EN ÉTÉ, COMPARÉE À LA CONCENTRATION D'OZONE PRÉ-INDUSTRIELLE (VERS 1850) (AUGMENTATION EXPRIMÉE EN POURCENTAGE) (IMAGES MODEL). LE SCHÉMA INDIQUE QUE LA CONCENTRATION ACTUELLE SUR TOUT L'HÉMISSPHÈRE NORD A AU MOINS DOUBLÉ (ORANGE) ET MÊME QUINTUPLÉ (ROUGE) EN CERTAINS ENDROITS (EUROPE OCCIDENTALE ET EST DES ÉTATS-UNIS). DANS L'HÉMISSPHÈRE SUD, LA PROGRESSION EST RELATIVEMENT LIMITÉE (+ 50%) (JAUNE-VERT).

L'ozone du week-end

Outre ses variations journalières (voir ci-dessus), la concentration de l'ozone fluctue également au fil de la semaine. Bien que pendant le week-end, la circulation soit nettement moins dense, dans les régions très peuplées, des concentrations d'ozone clairement supérieures à celles de la semaine sont enregistrées. Magie? Non, chimie! Comme nous l'avons déjà expliqué, la formation d'ozone nécessite la présence de NO dans l'air, le NO étant fourni par les excès de gaz d'échappement. Ce même NO est toutefois également capable de décomposer le O₃ pour former de l'O₂ et du NO₂.

Ce processus fait disparaître assez rapidement une partie de l'ozone formé. Or, l'intensité réduite de la circulation au cours des week-ends entraîne une baisse des émissions de NO. La décomposition de l'ozone est dès lors moins importante,

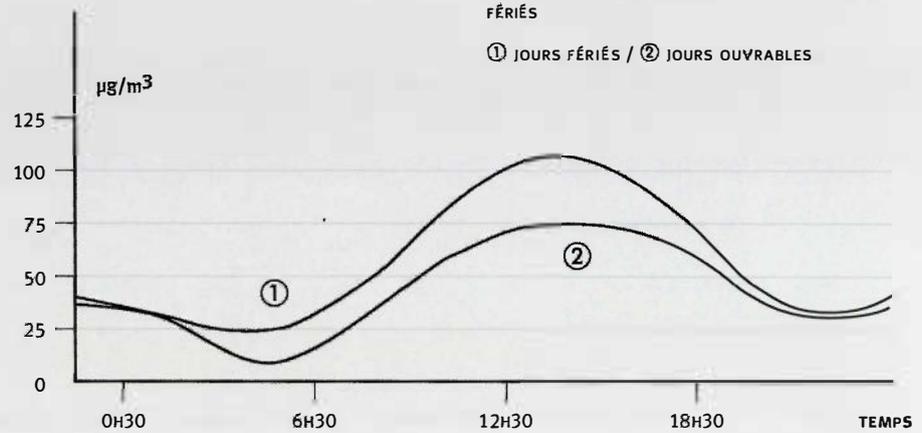
d'où l'enregistrement systématique de concentrations d'ozone supérieures pendant le week-end. Une étude effectuée par la Cellule interrégionale de l'environnement (Celine) a permis de conclure que la moyenne journalière des concentrations de l'ozone dans les zones urbaines (Bruxelles, Anvers,...) atteint jusqu'à 15% de plus les jours de congé, en raison du trafic limité.

Dans les régions rurales, cet effet est également constaté, bien que dans une mesure moindre. Au cours des matinées de l'été «riche en ozone» de 1995, la concentration de l'ozone pendant les week-ends dépassait même de 30% celle des jours de travail.

Ville et campagne

Ce même phénomène est la cause des valeurs d'ozone supérieures mesurées dans les stations installées dans les régions moins polluées, par rapport aux stations placées le long d'artères très fréquentées. C'est notamment le cas pour les stations d'Uccle et de Berchem-Ste-Agathe, respectivement dans un quartier résidentiel et dans une zone rurale relativement éloignée de la circulation et d'activités industrielles. Dans ces endroits, des concentrations d'ozone supérieures sont très régulièrement enregistrées par rapport à celles qui sont mesurées à Woluwe, dont la station se trouve près d'une artère importante, avec des concentrations élevées de NO et donc une décomposition plus importante de l'ozone.

ÉVOLUTION MOYENNE JOURNALIÈRE DE LA CONCENTRATION D'OZONE À BRUXELLES (WOLUWE) PENDANT L'ÉTÉ 1995, PENDANT LES JOURS OUVRABLES ET LES JOURS FÉRIÉS



SOURCE | IBGE

PRENDRE DES MESURES

Les exemples cités montrent clairement qu'il n'est pas simple d'évaluer les problèmes liés à l'ozone. Le NO, un des polluants responsables de la formation de l'ozone photochimique, joue aussi un grand rôle dans la décomposition de celui-ci. Il faut donc bien se rendre compte qu'en imposant une limitation temporaire à la circulation, à partir d'un certain niveau de concentration d'ozone, on pourrait bien obtenir l'effet inverse du but visé, c'est-à-dire une augmentation de la pollution par l'ozone! Les mesures imposées pour réduire les émissions de précurseurs dues à la circulation influencent donc aussi bien le mécanisme de la formation de l'ozone que celui de sa décomposition. Une modification déterminée de la quantité de précurseurs rejetée par les véhicules ne résulte pas automatiquement en une hausse ou une baisse proportionnelle de la concentration de l'ozone. Ainsi, une autre étude de la Celine a démontré qu'une restriction momentanée du trafic en Belgique pendant une période de smog estival, entraînera d'abord une progression de 10 à 15% de la concentration moyenne d'ozone!

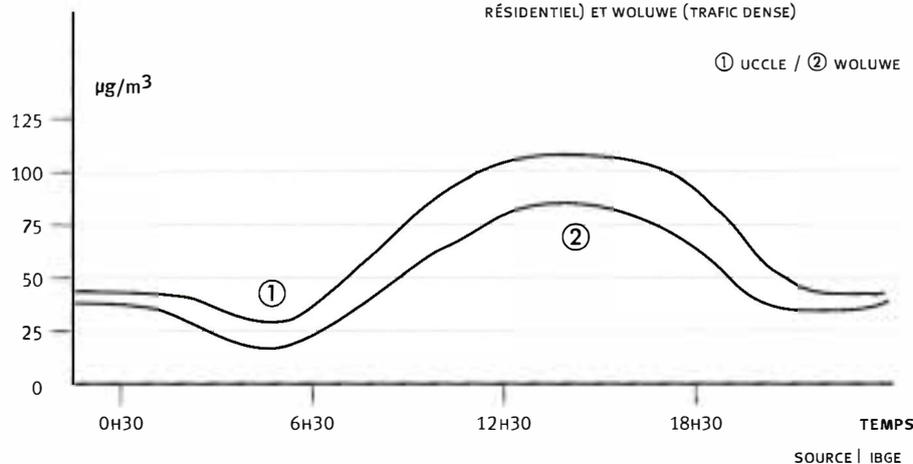
A la campagne aussi, de l'ozone se forme, ses précurseurs étant apportés par le vent, à partir de la ville. Les concentrations d'ozone qui y sont enregistrées sont souvent plus élevées qu'en ville. Ceci s'explique par le fait que dans les centres urbains, l'ozone formé est rapidement détruit par le NO présent en concentration nettement supérieure.

Le pot catalytique pour les voitures: la solution au problème de l'ozone?

La densité de la circulation urbaine étant la principale source de smog photochimique, le problème pourrait être résolu en réduisant le trafic de façon draconienne. On a

calculé que l'émission tant de NO_x que d'hydrocarbures devrait baisser de 60% pour éviter les concentrations excessives d'ozone! Au lieu de restreindre le nombre de voitures, ce qui serait très difficile à réaliser en pratique, il faudrait tenter de limiter le rejet des gaz polluants par les pots d'échappement. En plus de grandes quantités de CO₂ et d'H₂O (provenant de la combustion complète de l'essence), les gaz d'échappement contiennent, dans une moindre mesure, des gaz polluants comme des hydrocarbures, du CO (dérivés de la combustion incomplète de l'essence) et du NO_x.

ÉVOLUTION MOYENNE JOURNALIÈRE DE LA CONCENTRATION D'OZONE À BRUXELLES PENDANT L'ÉTÉ 1995, À DEUX ENDROITS DIFFÉRENTS: UCCLÉ (QUARTIER RÉSIDENTIEL) ET WOLUVE (TRAFFIC DENSE)

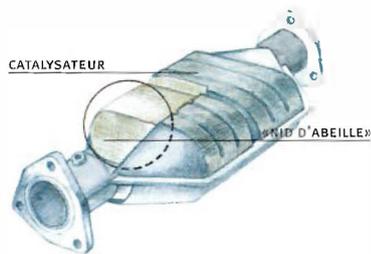


EN CAS DE CONCENTRATION ÉLEVÉE D'OZONE, IL EST CONSEILLÉ À LA POPULATION DE NE PAS FOURNIR D'EFFORTS ANORMAUX OU PROLONGÉS EN PLEIN AIR.

ALERTE À LA POPULATION

Une série de normes européennes visent la protection tant de la santé publique que de la végétation. En ce qui concerne l'information de la population, deux seuils ont été fixés. Dès que la concentration moyenne d'ozone sur 1 heure dépasse 180 µg/m³, la population doit être informée et avertie. En règle générale, il est recommandé à la population, et plus précisément aux personnes particulièrement sensibles à la pollution de l'air (enfants, personnes âgées ou souffrant de troubles respiratoires...), de ne pas faire d'efforts physiques inhabituels ou de longue durée en plein air, entre 12 et 22 heures. Si la concentration moyenne d'ozone sur 1 heure dépasse 360 µg/m³, la population doit être avertie et alertée. Tout effort physique intense est alors à éviter. En cas d'exposition à ces concentrations élevées, la fonction pulmonaire s'affaiblit et différents troubles peuvent survenir (essoufflement, vertiges, nausées, maux de tête).

Pour la végétation, la valeur horaire d'ozone est de 200 µg/m³. Au-dessus de ce seuil, des dégâts plus ou moins graves sont constatés.



LES GAZ D'ÉCHAPPEMENT SONT «ÉPURÉS» PAR UN POT CATALYTIQUE.

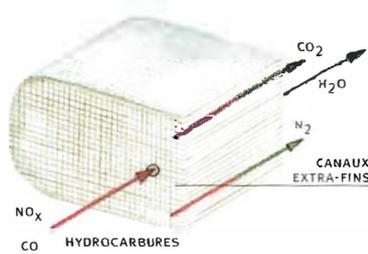
12 FONCTIONNEMENT D'UN POT CATALYTIQUE POUR VOITURES

Les gaz d'échappement pénétrant dans le pot catalytique passent par de petits canaux extra-fins, fabriqués dans des combinaisons d'aluminium, de silicium ou de titane, qui résistent à la chaleur. Ce «nid d'abeille» est recouvert d'une couche de très fines particules de platine et de palladium – le catalyseur proprement dit –, qui épurent de manière accélérée le CO et les hydrocarbures.

Afin d'éliminer le NO, un autre précurseur important de l'ozone, un catalyseur supplémentaire, à base de rhodium, peut être ajouté pour transformer le NO en N₂, inoffensif.

Le pot catalytique le plus connu est le pot à trois voies, dont le nom se réfère au triple processus de transformation des gaz d'échappement: le CO est transformé en CO₂, les hydrocarbures en CO₂ et en H₂O, et le NOx en N₂.

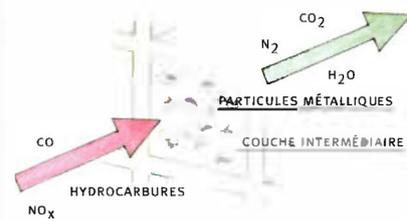
Il serait également intéressant de pouvoir transformer les résidus de la combustion incomplète du carburant (hydrocarbures et CO) en CO₂ et en H₂O, des produits «inoffensifs» pour la santé publique (mais néanmoins responsables en grande partie de l'augmentation de l'effet de serre). Un



bon pot catalytique pourrait se charger de réaliser cette transformation (voir encadré). Quoiqu'il en soit, la pollution par l'ozone reste un problème! Une baisse de la quantité d'hydrocarbures et de NO_x émis devrait juguler la formation d'ozone. Mais cela ne se passe pas comme ça, notamment parce que le fonctionnement du pot catalytique laisse à désirer: il n'est pas utilisable sur les véhicules qui roulent à l'essence sans plomb ou au gas-oil, et ses performances diminuent après 20.000 km et par temps froid. De plus, le nombre d'automobiles et de camions en circulation ne cesse d'augmenter (plus de 4.000.000 de véhicules à moteur alimentent les embouteillages), ce qui ne fait que favoriser l'émission des précurseurs d'ozone.

Victimes du smog d'été

Parmi tous les produits photochimiques susceptibles de se former au cours d'un smog d'été, l'ozone est peut-être le plus nocif pour la santé publique. En effet, il n'est pas bien arrêté par les voies respiratoires supérieures, et pénètre dès lors facilement dans les moindres recoins des poumons. Il peut alors y endommager les tissus délicats qui ne sont pas protégés par des muqueuses, et provoquer des inflammations et des perturbations de la fonction pulmonaire. Les premières victimes de l'ozone sont les patients atteints d'affections chroniques des voies respiratoires (broncho-pneumopathie chronique obstructive



ou B.P.C.O) ou de troubles cardiaques, ainsi que les jeunes enfants et les personnes âgées. Il ressort d'une étude récente réalisée par l'Institut d'Hygiène et d'Épidémiologie (IHE) et la Cellule interrégionale de l'Environnement (Celine) que le nombre considérable de personnes âgées décédées lors de la vague de chaleur de l'été 1994, est lié aux concentrations d'ozone élevées enregistrées à cette époque.

Cependant, même les personnes saines ne sont pas épargnées: essoufflement, inflammation des poumons, irritation du nez, des yeux et de la gorge, fatigue, nausées, vertiges,... Quiconque s'expose de façon répétée (et prolongée) à de hautes concentrations d'ozone risque de développer des troubles irréversibles, tels que des affections pulmonaires chroniques. A long terme, le système immunitaire peut également être affaibli. Certains scientifiques estiment que l'ozone peut aussi toucher le matériel génétique, ce qui déboucherait sur l'apparition de cancers.

DE NOMBREUSES ÉTUDES PROUVENT QUE LE SMOG D'OZONE PEUT AGGRAVER LES PROBLÈMES RESPIRATOIRES.



Enfin, la réaction entre l'ozone et les hydrocarbures présents entraîne la formation de produits lacrymogènes, comme le PAN (peroxy-acétyl-nitrate) et l'acroléine.

| Le smog d'hiver

Smog d'hiver

Qui dit smog d'hiver pense automatiquement aux fameuses périodes de smog qui sévirent à Londres dans les années 50. La plus dramatique (le smog «purée de pois») se déroula en décembre 1952 lorsque, d'après les estimations, 4.000 personnes perdirent la vie en une semaine! Les victimes avaient inhalé des gouttes d'eau microscopiques plus acides que du jus de citron! Ce smog persista plusieurs jours, du fait qu'une combinaison entre une zone de haute pression très stable et une inversion de température avait empêché les polluants de se mélanger aux couches supérieures de l'atmosphère. La Belgique aussi est passée par une période tragique de smog. En 1930, une cinquantaine de personnes périrent dans la vallée de la Meuse. Pendant cinq jours, des concentrations anormalement élevées de SO_2 et

de particules en suspension, provenant de l'industrie lourde locale du fer et de l'acier, provoquèrent en effet un brouillard très irritant.

Le smog d'hiver apparaît la plupart du temps dans des conditions atmosphériques froides et humides, lorsque les installations de chauffage des maisons et des édifices tournent à plein régime et que de grandes quantités de SO_2 et d'aérosols sont libérées dans l'air. Ce temps froid est également responsable d'une diminution de l'efficacité du fonctionnement du moteur des véhicules et de là, des émissions exagérées de CO et d'hydrocarbures. Si en plus, l'air contient beaucoup de particules de suie et que le SO_2 émis continue à s'oxyder pour former un brouillard sulfurisé, un smog hivernal très important est assuré. Il est évident que la plupart des villes à industrie lourde souffrirent jadis de cette pollution, mais la ville de Londres, déjà naturellement brumeuse, en reçut une dose massive, due au fait que le charbon anglais est exceptionnellement riche en soufre. Les conditions optimales pour la formation du smog d'hiver se situent le matin: une température de 0 à 10°C et une humidité de l'air

élevée. L'air renferme alors de l'acide sulfurique, des particules de poussière, du CO et des hydrocarbures.

Un danger pour la santé publique

Les épisodes de smog d'hiver se caractérisent en particulier par des concentrations élevées de SO_2 et de particules solides en suspension dans l'air. Des aérosols acides et des concentrations anormales de CO et d'hydrocarbures sont souvent constatés également. Même si les plus grosses particules d'aérosols restent surtout dans le nez et la gorge, de minuscules particules parviennent jusqu'aux poumons. Les polluants adhérant à ces particules peuvent alors être absorbés par le sang, par l'intermédiaire des millions d'alvéoles (de minuscules poches d'air situées dans le fond des poumons). D'autres organes, dont le foie, risquent dans ce cas d'être atteints.

Le dioxyde de soufre et l'acide sulfurique irritent fortement les yeux et les voies respiratoires, tout en favorisant le développement d'affections pulmonaires aiguës et chroniques. S'il y a beaucoup de particules de suie et de poussière dans l'air, le SO_2 et le H_2SO_4 empêchent le fonctionnement des cils vibratiles tapissant la trachée.

| SMOG D'HIVER DANS LA VILLE POLLUÉE DE LONDRES (LONDON BRIDGE). CE BROUILLARD DE POLLUANTS EST PRINCIPALEMENT PRODUIT PAR PLUS DE 3 MILLIONS DE VÉHICULES À MOTEUR CIRCULANT QUOTIDIENNEMENT DANS LA VILLE.

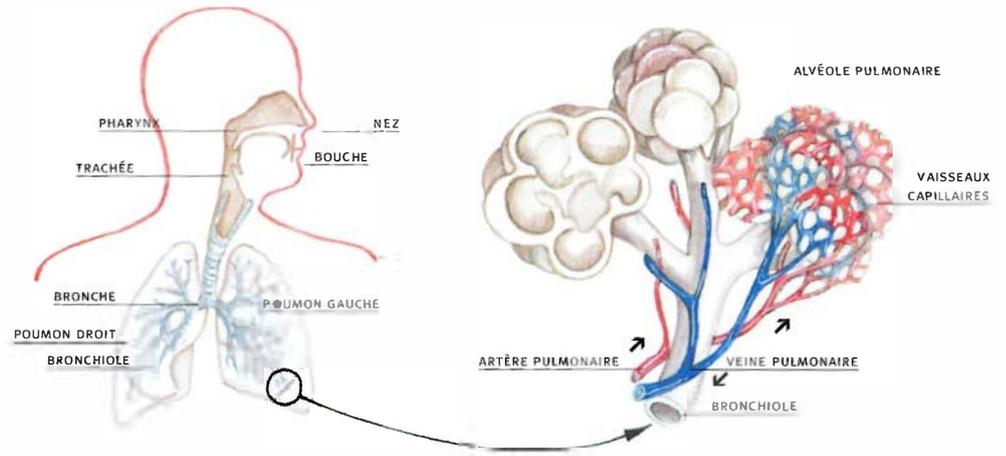


Diverses particules toxiques arrivent par conséquent dans les poumons, où elles peuvent endommager les tissus particulièrement fragiles de cet organe et causer des inflammations.

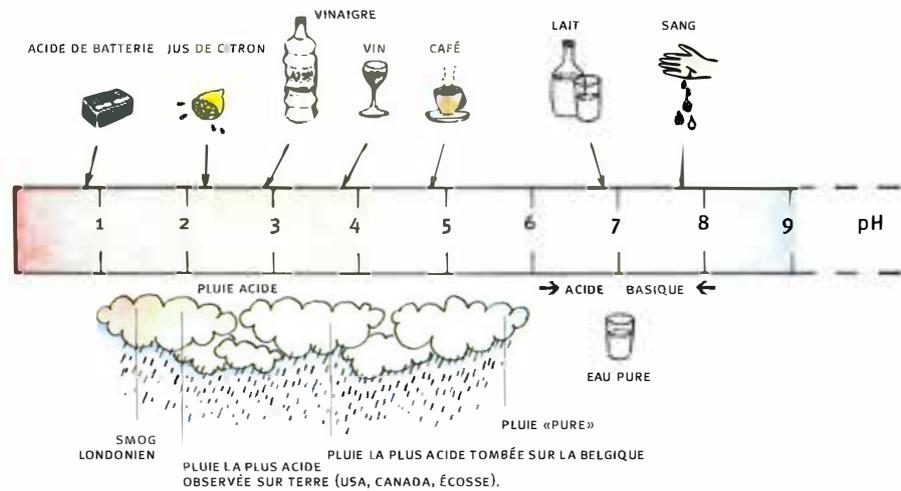
Les principaux effets sur la santé publique sont une baisse des fonctions pulmonaires, une multiplication des troubles respiratoires, des vomissements, différents autres symptômes et même le décès. Sur base des concentrations actuelles et de la mortalité enregistrée antérieurement pendant les épisodes 'londoniens', des experts estiment qu'à ce jour des milliers de personnes meurent prématurément.

Pluies acides

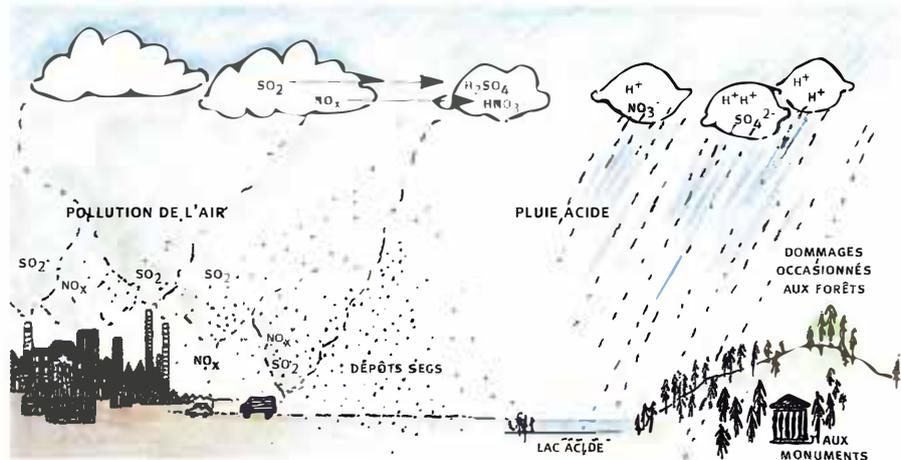
Au XVIII^e siècle déjà, le phénomène des «pluies acides» avait été observé en Grande-Bretagne. Il n'est donc pas nouveau. En fait, la formation des pluies acides correspond à un processus très efficace d'élimination des éléments polluants de l'atmosphère. Le dioxyde de soufre (SO_2) et le dioxyde d'azote (NO_2) se dissolvent en effet facilement dans les innombrables gouttes d'eau qui se trouvent dans l'air. A l'intérieur de ces gouttes, ils se transforment (s'oxydent), sous l'influence de l'ozone ou du peroxyde d'hydrogène, respectivement en acide sulfurique (H_2SO_4) et en acide nitrique (HNO_3). L'ammoniac (NH_3), produit en grandes quantités par l'élevage, est une autre source de pluies acides. Les bactéries du sol transforment cet ammoniac en acide nitrique qui se propage à son tour dans l'atmosphère. C'est ainsi que les gouttelettes formant les nuages sont cent à mille fois plus acides que les gouttes de pluie «pure». Si ces gouttes acides tombent sous forme de pluie ou de neige, les pluies sont dites «acides».



SYSTÈME RESPIRATOIRE DE L'HOMME. LES POLLUANTS QUI PÉNÈTRENT EN PROFONDEUR DANS LES POUMONS RISQUENT D'ENDOMMAGER LES TISSUS PULMONAIRES FRAGILES ET D'ARRIVER DANS LE SANG PAR L'INTERMÉDIAIRE DES MILLIONS D'ALVÉOLES PULMONAIRES.



PH DE QUELQUES SUBSTANCES COURANTES. DANS CERTAINES CIRCONSTANCES EXTRÊMES, LA PLUIE ET LE BROUILLARD SONT PARFOIS PLUS ACIDES QUE DU JUS DE CITRON. EN BELGIQUE, IL ARRIVE QUE DES PLUIES ACIDES ATTEIGNENT UN PH ÉGAL OU INFÉRIEUR À 4.



ÉMISSION ET DÉPÔT DE SO_2 ET DE PLUIES ACIDES. DES PARTICULES SULFATÉES SONT FACILEMENT TRANSPORTÉES JUSQU'À QUELQUES CENTAINES DE KILOMÈTRES OU MÊME À PLUS DE MILLE KILOMÈTRES DE LEUR SOURCE D'ÉMISSION. LES PLUIES ACIDES CONSTITUENT DONC UN GRAVE PROBLÈME INTERNATIONAL



LE DÉVERSEMENT D'ÉNORMES QUANTITÉS DE CALCAIRE DANS LES LACS SCANDINAVES DEVRAIT PERMETTRE MOMENTANÉMENT DE LUTTER CONTRE L'ACIDIFICATION DE CES LACS. LE CALCAIRE NEUTRALISE EN EFFET L'ACIDITÉ DE L'EAU.

La pluie pure (l'eau de pluie naturelle, non polluée, qui tombe sur les îles lointaines), a un pH de 5,6. Cette légère acidité résulte de la quantité de dioxyde de carbone (CO_2) naturellement présent dans l'atmosphère, transformé en acide carbonique (H_2CO_3) dans l'eau de pluie. Dans les régions où l'air est fortement pollué, la pluie peut devenir jusqu'à 100 fois plus acide, à cause de la présence d'énormes quantités de SO_2 et de NO_2 , respectivement transformés en H_2SO_4 et en HNO_3 . Le smog le plus acide a été enregistré à Los Angeles avec un pH inférieur à 2, soit près de dix mille fois plus qu'une goutte d'eau «pure»!

Comme les particules sulfatées des couches inférieures de l'atmosphère subsistent plusieurs jours (2 à 10), les pluies acides peuvent facilement être transportées à quelques centaines de kilomètres, voire à plus de mille kilomètres de la source d'émission. Le phénomène est dès lors un problème international, dont les effets sont surtout constatés en aval de la zone d'émission.

C'est ainsi que la Scandinavie, très écologiste, a dû (et doit encore) faire face à des pluies acides en provenance de la Grande-Bretagne, du bassin allemand de la Ruhr et d'autres parties d'Europe occidentale. En 1930 et 1960, le degré d'acidité des lacs suédois a presque centuplé, le pH de 5.000 lacs environ descendant même en dessous de 5. Depuis lors, la situation ne s'est pas améliorée. En Suède et en Norvège, les pluies acides ont causé la disparition quasi totale des poissons (notamment celle des saumons), dans plus de 20.000 lacs. En outre, de nombreuses forêts de conifères ont également souffert. En Europe centrale également, les forêts ont subi des dégâts dus aux pluies acides. A l'heure actuelle, néanmoins, de nombreux chercheurs considèrent cette Waldsterben (mort des forêts) comme un problème à facettes multiples, dans lequel des facteurs comme la pollution par l'ozone atmosphérique et l'accumulation d'ions de plomb et de cadmium dans le sol, jouent également un rôle. Certains scientifiques avancent même qu'une infection virale pourrait être à l'origine

du phénomène, tandis que pour d'autres, une mauvaise gestion des forêts ou des modifications climatiques l'expliqueraient (voir Le Mal des Forêts ardennaises).

Le dépôt sans cesse croissant de particules de soufre et de plomb sur la calotte glaciaire du Groenland, depuis le début de la révolution industrielle, prouve d'ailleurs que les polluants sont parfois transportés sur des distances incroyables.

PLUIES ACIDES ET PRÉCIPITATIONS ACIDES

L'utilisation des termes «pluies acides» et «précipitations acides» soulève pas mal de discussions. Alors que les «pluies acides» désignent surtout les précipitations atmosphériques acides sous forme de neige ou de pluie, certains scientifiques préfèrent la notion de «précipitations acides» qui, outre les «pluies acides», englobe également la précipitation de particules acides sèches, comme des gaz et des poussières. Toutefois, sous l'influence des médias, la notion de «pluies acides» s'est généralisée, pour couvrir non seulement les «pluies acides», mais aussi d'autres polluants nuisibles pour l'environnement comme l'ozone et les PAN.

BREF APERÇU

Dans le tableau qui suit, vous trouverez un bref aperçu des conditions donnant lieu à la formation de smog

DIFFÉRENCE ENTRE LE SMOG D'ÉTÉ ET LE SMOG D'HIVER

	SMOG D'HIVER (DE LONDRES)	SMOG D'ÉTÉ (DE LOS ANGELES)
Niveau maximal	Le matin	Autour de midi
Température	Basse: 0-10°C	Élevée: 25-35°C
Inversion de température	Oui	Oui
Degré d'humidité	Élevé	Bas
Conditions atmosphériques	Temps couvert et brouillard	Soleil et temps clair
Causes	Combustion de combustibles sulfureux	Forte densité de la circulation
Principaux polluants	SO ₂ et particules en suspension	NO _x , hydrocarbures et poussière
Principaux producteurs	H ₂ SO ₄ , brouillard acide	O ₃ , PAN, oxydants organiques
Problèmes de santé	Voies respiratoires	Voies respiratoires et yeux

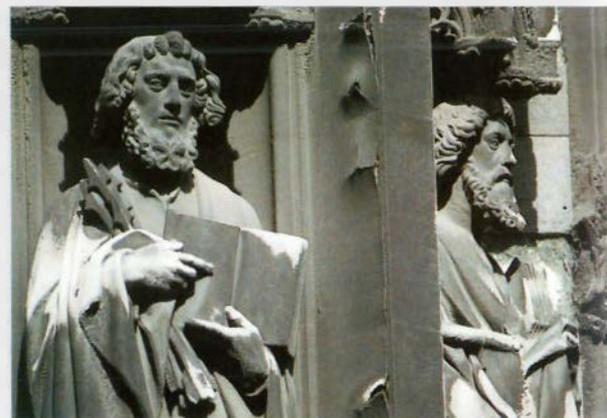
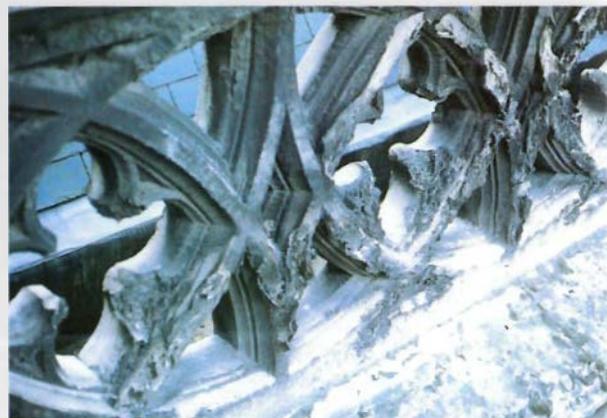
Ces dernières années, les polluants à la base du smog d'été (NO_x, CO, hydrocarbures, poussière) provoquent également de plus en plus fréquemment une pollution locale de l'air au printemps, à l'occasion d'une inversion de température. Heureusement, la lumière solaire insuffisante à cette saison empêche la transformation de ces éléments en polluants secondaires comme l'ozone ou les PAN. Par contre, l'inversion importante de la température donne lieu à une accumulation de ces gaz toxiques, qui forment un véritable nuage au-dessus de la ville. Ce fut notamment le cas à Lyon en février et en mars 1997. Ce type de pollution de l'air est parfois surnommé «smog automobile». Au niveau de son impact sur la santé publique, ce smog est aussi néfaste que les smogs d'été et d'hiver.

Le dépérissement

de notre patrimoine culturel

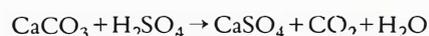
Une grande quantité d'édifices et de monuments historiques de grande valeur ont affreusement souffert au cours de ces cent dernières années. Certaines constructions, respectées pendant des siècles, ont été tellement endommagées par plusieurs décennies de pluies acides et de dioxyde de soufre, qu'elles ne sont plus que l'ombre de leur passé glorieux. La cathédrale Saint-Paul de Londres, qui fut jadis un édifice d'un blanc éclatant, se transforme lentement mais sûrement, en une construction de pierre calcaire érodée, de la couleur de la suie. L'obélisque de Cléopâtre (Cleopatra's Needle) à New York est beaucoup plus éprouvée depuis qu'elle a été dressée à Central Park, au siècle dernier, que pendant les 2.000 ans passés en Egypte. Une multitude d'autres

LES PLUIES ACIDES ET LA POLLUTION SONT NÉFASTES POUR NOS MONUMENTS. CETTE BALUSTRADE (CATHÉDRALE ST-ROMBAUT À MALINES) ET CE PILIER (GARE DE LOUVAIN) ONT TERRIBLEMENT SOUFFERT DES PLUIES ACIDES. MÊME LES SAINTS NE SONT PAS ÉPARGNÉS PAR LES ANNÉES DE POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE QU'ILS SUBISSENT À BRUXELLES! (ÉGLISE DU SABLON).



édifices historiques qui, au fil des siècles, avaient vaillamment résisté à l'usure du temps, ont été sérieusement abîmés par le dioxyde de soufre et les pluies acides: la cathédrale de Cologne, la cathédrale St-Rombaut de Malines, de nombreux monuments de Venise,...

La pierre utilisée pour la construction de nombreux édifices européens (calcaire, marbre ou grès) est à l'origine de leurs problèmes. Les pluies acides et le dioxyde de soufre transforment la calcite (CaCO_3) du matériau de construction, en gypse (CaSO_4).



Le gypse (CaSO_4) est fragile, poreux, et bien plus soluble dans l'eau que le matériau contenant de la calcite. Une simple averse entraîne le gypse formé, laissant derrière elle une surface criblée de petits trous dans lesquels l'eau peut s'infiltrer.

LA CATHÉDRALE ST-ROMBAUT RÉTRÉCIT

Du fait que le gypse formé par les pluies acides se dissout aisément dans l'eau, les averses flamandes, très régulières, emportent avec elles chaque année 10 tonnes de matériaux, et les murs de la cathédrale s'amenuisent au rythme de 0,02 mm par an. Néanmoins, comme les pluies qui arrosent la Belgique proviennent habituellement du sud ou de l'ouest, ce sont principalement les façades sud et ouest de l'édifice qui s'amincissent. Sur les côtés nord et est, abrités, le gypse est moins vite entraîné. Il absorbe toutefois nettement mieux l'eau et la suie que la pierre d'origine, ce qui explique la couleur noire des façades 'protégées' et l'effritement de la pierre quand l'eau absorbée se dilate par temps de gel.

Quand il gèle, l'eau se transforme en glace et se dilate, ce qui favorise encore l'usure et l'effritement du matériau. Une fois que la couche de gypse a été emportée par la pluie, la couche de calcaire sous-jacente est mise à nu et se transforme à nouveau sous l'effet des pluies acides, en gypse. Le phénomène de dégradation se répète alors. Si le bâtiment est moins battu par les pluies, des particules de suie ont le temps de se fixer sur le gypse poreux, et noircissent alors entièrement l'édifice.

Autre conséquence de la pollution de l'air: une dégradation des métaux et des peintures. Les clochers et les vitraux subissent ainsi des outrages irréparables. Mais il n'y a pas que notre patrimoine culturel qui part en poussière. Les bâtiments modernes en béton n'échappent pas non plus aux pluies acides. Ne vaudrait-il donc pas mieux, finalement, appliquer un peu plus souvent le principe selon lequel «mieux vaut prévenir que guérir»? Surtout quand on sait que la facture de la restauration d'un monument historique est parfois estimée à plus d'1 milliard BEF,...

Mesures à prendre

Dans de nombreux cas, la pollution de l'air, comme la formation d'ozone photochimique, dépasse les frontières. Elle justifie donc des mesures internationales, ou tout au moins européennes. Ainsi, la Belgique est tenue de respecter les accords concernant la réduction de l'émission de SO_2 et de NO_x , conclus dans le cadre des protocoles respectifs d'Oslo et de Sofia. Le protocole de Genève impose des limitations relatives au rejet de substances organiques volatiles. L'Union européenne impose par

DE LA SUIE MORDANTE

Cela fait déjà quelques années qu'on soupçonne les particules de suie et les métaux de jouer un rôle important dans la transformation chimique de la calcite, en gypse. Dans un environnement aqueux, ces particules facilitent (catalysent) la transformation du SO_2 présent dans l'air en sulfate (SO_4^{--}).

Plus il y a de suie, plus la réaction est facile. Comme le gypse se dissout sans problème dans l'eau, la pluie creuse dans la pierre un fin réseau de petits canaux. Une nouvelle liaison a lieu alors entre la pierre encore intacte et l'air extérieur qui apporte de nouvelles particules de suie et de métaux. L'effet destructeur de celles-ci est clairement apparent dans certaines villes. A Venise, par exemple, les monuments et les sculptures couverts de suie deviennent méconnaissables. Les bâtiments à l'abri des vents qui transportent la suie sont par contre à peu près épargnés.

ailleurs une série de directives concernant la qualité de l'air, et fixe notamment des valeurs limites pour certains polluants toxiques. Ces directives sont obligatoires pour les Etats membres. Dès qu'un seuil déterminé est dépassé, des mesures doivent être mises en œuvre pour éviter que la situation ne se représente à l'avenir. Au niveau national, des arrêtés royaux prévoient des dispositions importantes pour lutter contre la pollution atmosphérique. L'arrêté royal du 19/10/1988 stipule par exemple que la teneur en soufre du mazout pour le chauffage domestique et du gas-oil pour les véhicules routiers, ne peut être supérieure à 0,2%.

Le tableau de la page suivante résume quelques mesures concrètes visant l'amélioration de la qualité de l'air.

MESURES SUSCEPTIBLES D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'AIR

POLLUANT	MESURES	GROUPES-CIBLES
SO ₂	Désulfuration des combustibles et des gaz des fumées	Raffineries, industries, centrales électriques
NO _x	Pots catalytiques, brûleurs à faible émission de NO _x	Circulation, industries, centrales électriques
Particules en suspension	Filtres à suie, dépoussiérage des gaz des fumées	Circulation, industries, raffineries
COV	Pots catalytiques, produits pauvres en solvants (peinture,...)	Circulation, population, industries
Produits de combustion incomplète (CO, HAP, dioxines)	Pots catalytiques, optimisation des processus de combustion	Circulation, incinération des déchets, industries
Métaux lourds	Essence pauvre en plomb	Raffineries, circulation

SOURCE | LEREN OM TE KEREN

| Le problème des déchets

Production des déchets

Notre société est fortement axée sur la plus grande consommation possible des biens. Elle est aussi une société du «prêt-à-jeter», la durée de vie des produits ne cessant de diminuer et la production des emballages inutiles ne faisant qu'augmenter. Alors qu'auparavant, les légumes frais s'achetaient chez l'épicier du quartier ou au marché, ils sont aujourd'hui vendus sous forme de surgelés ou de conserves. Conséquence: de plus en plus de produits d'emballage difficilement biodégradables viennent s'ajouter à une montagne de déchets toujours plus haute.

A titre d'exemple, examinons de plus près la production de déchets d'une grande ville comme Bruxelles. En 1996, les Bruxellois, qui étaient près d'1 million, produisaient envi-

CONTENU D'UN SAC POUBELLE BRUXELLOIS

TYPE DE DÉCHETS	POIDS EN GRAMMES
Organiques	320
Papier + carton	180
Verre	100
Plastique + briques de boissons	80
Métaux	30
Textiles	30
Déchets électriques et électroniques ménagers	70
Autres (petits débris, petits déchets dangereux, autres emballages,...)	190

SOURCE | PLAN DE PRÉVENTION ET DE GESTION DES DÉCHETS (RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE) - 1992

ron 340.000 tonnes de déchets ménagers. Ce chiffre équivaut à 360 kg par habitant et par an, soit à peu près 1 kg par habitant et par jour. La composition de ce kilo d'ordures est détaillée dans le tableau au bas de la page.

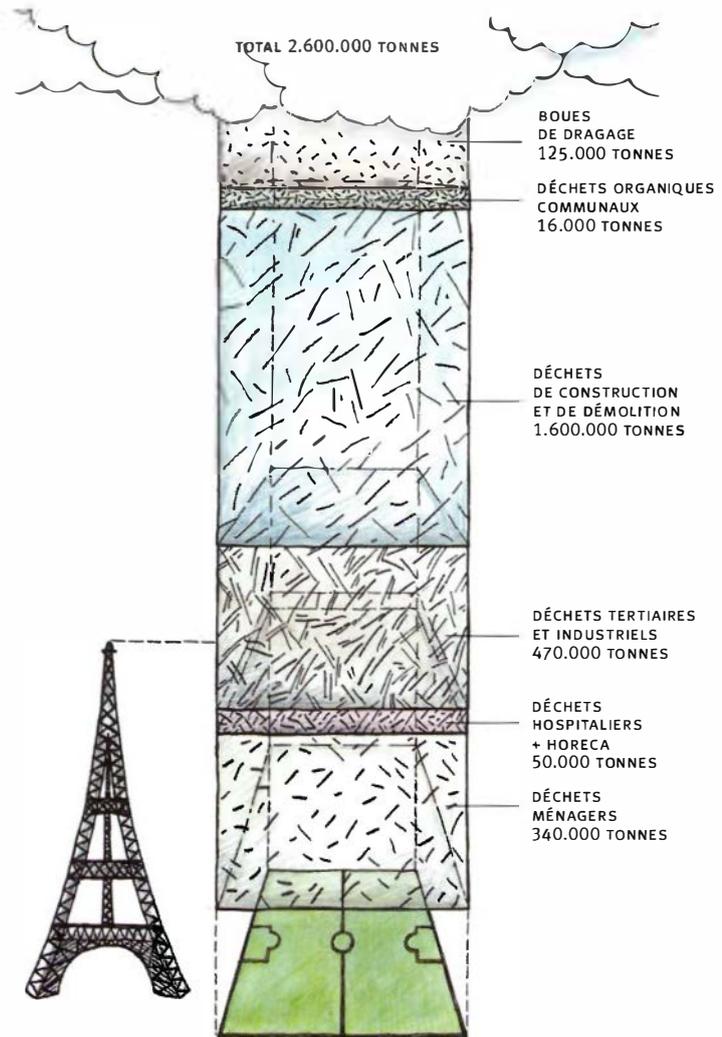
En dehors des déchets ménagers, la région bruxelloise doit également se débarrasser chaque année d'environ 370.000 tonnes de déchets industriels (provenant des secteurs primaire et secondaire), dont 40.000 tonnes de produits considérés comme dangereux pour l'environnement et la santé publique, et un peu moins de 10.000 tonnes de produits classés comme toxiques! Les bureaux, les écoles et les garages fournissent quelque 100.000 tonnes de déchets. La démolition d'immeubles et de routes s'accompagne de

L'HISTOIRE DES DÉCHETS

Il faut attendre la fin du Moyen Age pour que la ville de Bruxelles s'occupe du traitement ou de l'élimination de ses déchets. Les plaintes de la population au sujet des odeurs et du manque d'hygiène devenant de plus en plus pressantes, un service d'enlèvement des ordures fut organisé en 1405. Auparavant, celles-ci étaient tout simplement jetées par les fenêtres, pour atterrir soit dans la rue, soit dans la Senne. La partie organique des déchets récoltés était vendue aux fermiers comme engrais, ce qui fit du ramassage des ordures une activité lucrative. Ce n'est qu'au XVIe siècle que les déchets furent stockés en dehors de la ville. Cette méthode fut appliquée jusqu'au XIXe siècle, et en 1882, un incinérateur fut même construit... Cette expérience fut toutefois abandonnée quelques années plus tard. A partir du début de ce siècle, les ordures ménagères bruxelloises quittent la ville par bateau ou par train. Une partie de ces déchets est toujours vendue comme engrais, tandis que le reste est déversé dans les terrains marécageux qui entourent Bruxelles.

1.600.000 tonnes de débris de construction et de démolition (béton, maçonnerie, asphalte, terre,...). Les hôpitaux bruxellois produisent 12.000 tonnes de déchets, le secteur horeca près de 40.000 tonnes, et l'entretien des espaces verts communaux (herbe, bois,...) environ 16.000 tonnes. Pour compléter cette liste, il reste à mentionner les boues provenant du dragage et du curage des canaux et des cours d'eau bruxellois, qui atteignent une moyenne de 125.000 tonnes par an. Au total, la Région de Bruxelles-Capitale produit donc 2.600.000 tonnes de déchets par an.

L'INCINÉRATEUR DE NEDER-OVER-HEEMBEEK (BRUXELLES) BRÛLE CHAQUE ANNÉE PLUS DE 500.000 TONNES DE DÉCHETS MÉNAGERS ET ASSIMILÉS.



LA RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE PRODUIT PLUS DE 2,5 MILLIONS DE TONNES DE DÉCHETS PAR AN.

Traitement des déchets: avantages et inconvénients

Le traitement de cette énorme quantité de déchets n'est pas facile. Les ordures ne disparaissent pas par miracle. En fait, elles ne disparaissent jamais! Elles prennent uniquement une autre forme, ou sont tout simplement transportées ailleurs et restent par conséquent une charge pour l'environnement. Ceci vaut aussi bien pour la barquette vide de margarine ou pour le lave-vaisselle usé, que pour les déchets industriels toxiques. Pour s'attaquer à cette masse de déchets, il existe

globalement quatre méthodes de traitement: l'incinération, la mise en décharge, le recyclage et le compostage. Dans tous ces cas, les déchets sont restitués à notre milieu sous une forme différente, parfois toxique. Ils peuvent ainsi polluer l'air, l'eau ou la terre. Chaque processus a donc ses avantages et ses inconvénients.

L'incinération

L'incinération des déchets est effectuée dans des installations spécialement conçues à cet effet. En dehors du coût particulièrement élevé de l'installation et

de l'entretien des incinérateurs, la pollution de l'air constitue le plus gros problème de ce système. Selon le type de déchets, et malgré la présence éventuelle d'installations d'épuration des gaz des fumées, l'incinération des ordures s'accompagne de l'émission de dizaines de tonnes de substances toxiques. Parmi ces polluants, se trouvent du SO₂, des NO_x, du CO, du HCl, des métaux lourds (Pb, Cd, Hg, Cr, Cu,...), de la dioxine (la substance la plus toxique jamais produite par l'homme!), des hydrocarbures polycycliques cancérigènes, et diverses particules de poussières toxiques ou non. Toutes ces substances finissent par retomber, et polluent ainsi les eaux de surface et le sol, mettant en danger la santé publique. En outre, l'eau usée rejetée par les incinérateurs contiennent des particules de cendres et d'importantes quantités de métaux lourds. Par ailleurs, les scories (résidus solides de la combustion)

ainsi que les cendres volantes restent à éliminer. Le tout représente 30% du poids total des déchets brûlés par les incinérateurs (soit près de 150.000 tonnes pour Bruxelles). Il y a cependant moyen de traiter ces cendres volantes et de les utiliser comme matières premières pour les routes, dans le secteur de la construction et dans les briqueteries. De plus, la chaleur produite peut être récupérée pour produire de l'électricité - un avantage non négligeable.

Mise en décharge

Selon la nature des déchets, les décharges sont subdivisées en 3 classes. Les déchets industriels sont éliminés dans les décharges de Classe I, les ordures ménagères sont emmenées dans une décharge de Classe II, et les déchets inertes ou difficilement destructibles terminent leurs jours dans une décharge de Classe III. A l'heure actuelle, la mise en décharge est

contrôlée, de sorte que les nuisances ont considérablement diminué. Les déchets sont déversés dans un compartiment, étalés, puis comprimés en couches qui sont recouvertes chaque jour. Au moment de la fermeture de la décharge, on épand une couche de colmatage définitive. Malgré la présence d'une couche de couverture géologique naturelle et/ou d'une couverture artificielle du sol, ainsi que l'aménagement de drains pour l'écoulement de l'eau de percolation, des risques de pollution du sol et des eaux de surface subsistent. Des matières toxiques - métaux lourds (Pb, Zn, Cr,...), nitrates, substances organiques chlorées - peuvent en effet pénétrer dans le sol par des fissures ou être entraînées par l'eau de pluie. Ces fuites polluent gravement les sources d'eau potable avoisinantes, et sont également responsables de l'eutrophisation (voir chapitre consacré à la mer du Nord) des cours d'eau environnants. La décomposi-

IMPACT DES PRINCIPALES MÉTHODES DE TRAITEMENT DES DÉCHETS

	POLLUTION DE L'AIR	POLLUTION DE L'EAU	POLLUTION DU SOL
Incinération	Émission: SO ₂ , NO _x , CO, CO ₂ , suie, dioxines, hydrocarbures, métaux lourds (Pb, Zn, Cd)	Dépôt des substances toxiques provenant des fumées sur les eaux de surface	Déversement de scories et de cendres volantes
Mise en décharge	Émission: CO ₂ , CH ₄ Odeurs	Fuites de métaux lourds, de sels et de matières organiques dans les eaux souterraines	Accumulation de substances dangereuses dans le sol
Recyclage	Émission: poussière Odeurs	Déversement d'eaux usées	Mise en décharge des résidus
Compostage	Émission: CO ₂ , CH ₄ Odeurs		

tion biologique des déchets organiques libère en outre des gaz toxiques, explosifs ou inflammables. Il est toutefois possible de récupérer ces gaz pour les utiliser (biogaz). Enfin, une odeur désagréable (et de la poussière) entourent en général les sites des décharges, qui de plus enlaidissent le paysage, tandis que les activités mêmes liées au fonctionnement des décharges sont très bruyantes. Le seul avantage réel de ce système est purement économique: l'utilisation des décharges est la solution la moins onéreuse.

Tri et recyclage

Après être passés par des centres de tri, les déchets faisant l'objet de collectes sélectives subissent un processus de recyclage industriel destiné à en faire de nouveaux produits. La plupart du temps, cette méthode s'accompagne de l'émission de poussière, ainsi que d'odeurs et de bruits gênants. Par ailleurs, les eaux usées évacuées sont parfois polluées, et les derniers résidus doivent de toute façon être mis en décharge.

Le réemploi et le recyclage présentent néanmoins le grand avantage de réduire considérablement la demande en matières premières et en énergie, ainsi que de diminuer les effets néfastes des décharges et des incinérateurs sur l'environnement. Les principaux produits susceptibles d'être recyclés sont le verre, le papier et le carton, les boîtes de conserve et les plastiques. Ainsi, les vieux papiers sont transformés en carton ou en papier recyclé, les métaux sont refondus, et les pneus usés servent dans les cimenteries. Les cartons à boissons sont transformés en plaques de construction. Les bouteilles en PVC (chlorure de polyvinyle) permettent de fabriquer des câbles électriques et des

tuyaux, tandis que celles en PET (polyéthylène téréphtalate) donnent des fibres chimiques utilisées pour faire des meubles et des vêtements (10 bouteilles en PET suffisent pour la confection d'un pantalon). Les déchets chimiques mixtes (polyéthylène, polypropylène, polystyrène...) finissent en meubles de jardin, dalles, bornes routières, etc.

Compostage

Le compostage est un processus de décomposition aérobie accélérée de déchets organiques, par des bactéries. La température du tas de compost peut grimper jusqu'à 50°C, ce qui favorise la multiplication des bactéries décomposeuses. Ce compostage peut s'effectuer aussi bien dans un bac au jardin que dans des installations industrielles. Ce phénomène s'accompagne toujours du rejet de dioxyde de carbone (un des gaz responsables de l'effet de serre). De plus, en cas d'insuffisance d'oxygène, de petites quantités de méthane et des odeurs désagréables sont dégagées. Toutefois, le compostage présente deux avantages appréciables: son coût limité et la diminution de la quantité d'ordures à incinérer ou à mettre en décharge. De plus, le compost sert d'engrais et d'amendement en agriculture et en horticulture.

Conclusion: aucune méthode de traitement des déchets n'est parfaite. L'une est moins nuisible pour l'environnement que l'autre, mais toutes ont des effets négatifs inévitables. Le message à transmettre est par conséquent: limitez le plus possible la quantité de déchets que vous produisez! Une telle philosophie exige naturellement un changement radical de mentalité pour toute la population. Cette

responsabilité incombe non seulement à l'Etat mais aussi aux industries, à vous et à moi. Dans le chapitre 7 intitulé «le développement durable, une voie d'avenir», nous examinerons de plus près la façon de réduire au minimum l'impact sur l'environnement d'un produit donné au cours de son cycle de vie.

2

Le mal des forêts ardennaises

Les forêts de l'Ardenne suscitent bien des inquiétudes: leur santé décline depuis une quinzaine d'années. Mais elles ne sont ni les seules dans l'adversité, ni les plus gravement atteintes. L'ensemble de l'Europe et une bonne partie du continent nord-américain sont aussi touchés, à des degrés divers, par cette drôle de maladie en partie liée à la pollution atmosphérique.

Mais remontons le fil du temps, à la recherche des prémises de ce phénomène.

Au milieu des années 70, les médias diffusent des images alarmantes provenant d'Allemagne de l'Est, de Pologne et de Tchécoslovaquie: on peut y voir de larges étendues d'épicéas dépourvus d'aiguilles, morts ou agonisants. Des pluies acides concentrées, dues à la proximité de sites industriels très polluants, ont corrodé le feuillage de ces arbres, les condamnant à une mort rapide...



Au début des années 80, c'est la panique: des signes de dépérissement se manifestent un peu partout en Europe, ainsi qu'au Canada et aux Etats-Unis. La maladie frappe de nombreuses espèces d'arbres forestiers. On craint la disparition des forêts atteintes en une dizaine d'années... La communauté scientifique se mobilise, lance des programmes de recherche et met en place des réseaux de surveillance de la santé des arbres.

Heureusement, l'évolution du mal s'avère beaucoup plus lente que prévue. C'est que si la pollution de l'air y est bien pour quelque chose, elle n'est pas suffisamment concentrée pour endommager les arbres au point de les tuer. La situation des épicéas d'Europe centrale relevait en fait de l'exception.

FANTÔMES D'ÉPICÉAS TCHÈQUES
SOUS PLUIES ACIDES





DANS LES RANGS DES MALADES

PIN SYLVESTRE |

| ÉPICÉA



| Au chevet des forêts ardennaises

En Belgique, l'hiver 82-83 est à marquer d'une pierre noire: les épicéas de la région d'Eupen tombent malades et annoncent le début d'un cauchemar pour les gestionnaires de nos forêts. En effet, le dépérissement s'étend rapidement à d'autres espèces, un peu partout dans notre pays: douglas, pin sylvestre, chêne, hêtre, etc.



| CHÊNE

Bilan actuel: les massifs boisés de l'Ardenne et en particulier ceux de la Croix Scaille, des Hautes Fagnes et du plateau des Tailles, figurent parmi les plus gravement atteints. Le symptôme le plus apparent du dépérissement consiste en un vieillissement prématuré du feuillage:

- Les arbres feuillus se parent un mois à l'avance de leurs couleurs d'automne - on parle de chlorose pour désigner la disparition du pigment vert chlorophyllien - et commencent à se dégarnir avant leurs congénères en bonne santé. D'une année à l'autre, la progression du mal se marque par une plus grande proportion de feuilles tombées avant terme. De plus, des portions de ramure meurent petit à petit.
- Les conifères jaunissent et se «déplument» eux aussi avant terme. Un exemple concret: un épicéa malade perd des aiguilles âgées de trois ans à peine, alors qu'elles persistent pendant huit à neuf ans (voire douze) sur les sujets sains. Une fois dénudées, les branches ne font pas long feu...

HÊTRE |

Cet ensemble de signes révèle un affaiblissement progressif de l'arbre, qui se traduit également par un ralentissement de sa croissance. Fâcheux contretemps pour les producteurs de bois! Heureusement, la qualité technologique du matériau issu de plantations malades n'est pas altérée - du moins si le dépérissement n'est pas trop avancé.

Autre bonne nouvelle: la maladie n'est pas nécessairement fatale. Sauf complications, une rémission et un regain de vitalité sont toujours possibles.





Epicéa

- Les premiers symptômes de la maladie apparaissent en dessous de la cime: cette zone jaunit progressivement au départ du tronc, vers l'extrémité des branches, sans pour autant atteindre celle-ci.
- Les aiguilles jaunies tombent après trois à quatre ans et le mal gagne alors l'extrémité des branches mourantes.
- C'est ensuite à la cime...
- puis à la base de l'arbre, de dépérir. Dans le pire des cas, la mort survient au bout d'une dizaine d'années d'affaiblissement progressif.

Hêtre

- La cime est la première marquée: ses feuilles jaunissent et tombent un mois environ avant la date normale.
- L'année suivante...
- ... et celles d'après, les symptômes s'étendent dans la couronne de feuillage. Les ramilles (petits rameaux) se développent anormalement peu et les branches affaiblies meurent petit à petit.
- Pour finir, l'ensemble de la frondaison est atteinte et l'arbre ne tarde pas à mourir.

Entre l'apparition des premiers symptômes et l'issue fatale, il s'écoule au minimum une quinzaine d'années.

À la recherche des coupables...

Le premier diagnostic établi à propos du dépérissement des forêts ardennaises (et de leurs consœurs européennes et américaines) semblait limpide: attaque aiguë du feuillage, par des pluies acides concentrées. Mais les chercheurs ont rapidement dû réviser leur copie, car la lenteur de l'évolution du mal a démenti leur hypothèse.

Les auteurs du délit

En planchant sur l'hypothèse d'un lien entre la perte progressive de vitalité des arbres et un empoisonnement chronique de l'écosystème forestier par une pollution non pas concentrée mais diffuse, les scientifiques débouchent sur une surprise de taille: les apports réguliers de petites doses d'acide nitrique, d'acide sulfurique et d'ammoniac agissent indirectement sur les

arbres, en appauvrissant progressivement le sol. Les symptômes de la maladie traduisent en fait un régime alimentaire forcé, de plus en plus strict! Les feuillages peuvent aussi être attaqués par les polluants acides et même par l'ozone de basse altitude, mais il s'agit presque là d'une anecdote en comparaison de l'effet précité.

À LA SOURCE DE LA POLLUTION ACIDE

L'acide nitrique et l'acide sulfurique proviennent de la transformation, dans l'atmosphère, des oxydes d'azote et de soufre émis par les combustions en tous genres (chauffage domestique, moteur des véhicules, procédés industriels,...) Ils se déposent en forêt avec la pluie, mais aussi la neige et le brouillard, ou sous la forme d'aérosols. L'ammoniac a pour origine les émanations gazeuses des déjections d'animaux d'élevage. C'est sa transformation en nitrates par des bactéries du sol, qui produit de l'acidité (un processus appelé nitrification). Les forêts ardennaises reçoivent ainsi de dix à vingt kilos de soufre et d'azote par hectare et par an.

Mais la pollution n'est pas seule au banc des accusés: le mal semble également déclenché par des épisodes climatiques défavorables, tels que sécheresse ou fortes gelées, dont les effets sont d'autant plus graves qu'ils se répètent d'année en année.



UNE LONGUE MALADIE

Les complices

Élément important à verser au dossier de l'accusation: il existe des facteurs qui prédisposent les arbres à tomber malades. En fait, c'est leur mauvaise adaptation aux caractéristiques du milieu dans lequel ils sont implantés qui les affaiblit et les rend donc plus vulnérables aux facteurs de stress. Exemples: une espèce forestière qui a d'importants besoins en éléments minéraux se trouve en situation précaire si l'homme l'a plantée sur un sol acide et pauvre. Il en va de même pour une espèce introduite dans une région très venteuse, alors qu'elle ne supporte pas cette caractéristique climatique. Ces arbres se trouvent déjà sur la corde raide, avant même d'être exposés à la pollution, à la sécheresse, aux gelées et autres stress.

UN HÉRITAGE DIFFICILE À ASSUMER

Malheureusement, les sols forestiers ardennais sont souvent pauvres et acides, ce qui ne facilite pas la tâche des sylviculteurs. Depuis des siècles, les meilleures terres sont en effet allouées à l'agriculture. Les forêts sont quant à elles implantées ou maintenues sur des terrains ingrats, dont l'homme a accentué la pauvreté naturelle en extrayant du terreau, des feuilles mortes (pour constituer une litière pour le bétail), du bois (utilisé comme combustible), etc. Réalisées à grande échelle, les plantations de conifères ont contribué à la dégradation du sol car en se décomposant, les aiguilles de ces arbres libèrent des acides. (Certaines plantations de feuillus, insuffisamment éclaircies, ont eu le même effet néfaste sur le sol.) Toutefois, un siècle de cette pratique a eu moins d'influence néfaste sur les sols qu'une vingtaine d'années de pollution atmosphérique. Le cas de l'Ardenne n'a rien d'exceptionnel: partout en Europe, la situation est semblable.

Les profiteurs

Enfin, la maladie peut être aggravée par des virus, des bactéries, des champignons ou des insectes pour lesquels les arbres affaiblis constituent des «proies» faciles. Les arbres attaqués dépérissent de manière accélérée et la mort est souvent inévitable. Dans certains cas, leur bois perd de sa valeur ou s'avère même inutilisable car les agents pathogènes et les parasites y ont fait des dégâts. Facteurs prédisposants, déclenchants et aggravants: au fil des ans, leur

LES DÉGÂTS CAUSÉS PAR UN INSECTE TYPOGRAPHE

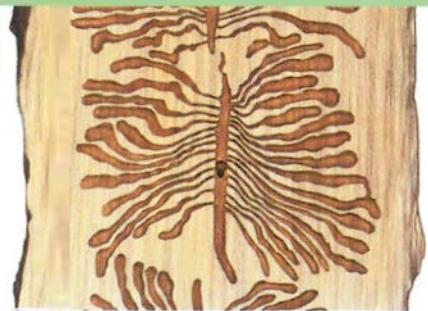
Cet insecte de la famille des scolytes creuse des galeries sous l'écorce des épicéas. L'activité de forage d'un grand nombre d'individus peut faire mourir l'arbre. Mais le coup fatal est le plus souvent porté par un champignon introduit par l'insecte, qui provoque le dessèchement de l'arbre, ainsi que la chute d'aiguilles et de plaques d'écorce.



LE SCOLYTE TYPOGRAPHE...

cumul mène doucement les arbres vers leur fin... Mais l'évolution de la maladie est sujette à des fluctuations. La disparition ou l'atténuation de l'un ou l'autre stress, stabilise ou même améliore l'état de santé des arbres.

Dans ce cas, des jeunes rameaux vigoureux se développent, la défeuillaison (chute des feuilles) précoce est moins marquée et les aiguilles jaunies des conifères reverdissent. Un exemple: de 1989 à 1991, la forêt ardennaise s'est portée de mal en pis; 1992: léger mieux; 1993: nette récupération. En fait, cette année-là, les arbres n'ont souffert ni de fortes gelées tardives, ni de sécheresse estivale. De plus, les attaques d'insectes qui avaient succédé aux dégâts occasionnés par les fortes tempêtes de 1990, se sont progressivement estompées. Depuis lors, la situation fluctue, notamment en fonction des conditions climatiques.



... ET SES GALERIES

L'ARDENNE: UN CAS GÉNÉRAL?

Les facteurs de stress impliqués dans la maladie des arbres varient d'une région de l'hémisphère Nord à une autre, si bien qu'il n'y a pas qu'une seule explication valable pour l'ensemble des forêts touchées. Si la pollution de l'air est à chaque fois suspectée, elle est, suivant les cas, considérée comme un facteur déclenchant ou prédisposant.

Gros plan sur les effets de la pollution

Une perturbation du sol... et de l'alimentation des arbres

Les dépôts graduels de polluants atmosphériques affectent la composition chimique des sols forestiers, mais aussi les (micro-)organismes qui y vivent. L'alimentation des arbres en est altérée de plusieurs façons.

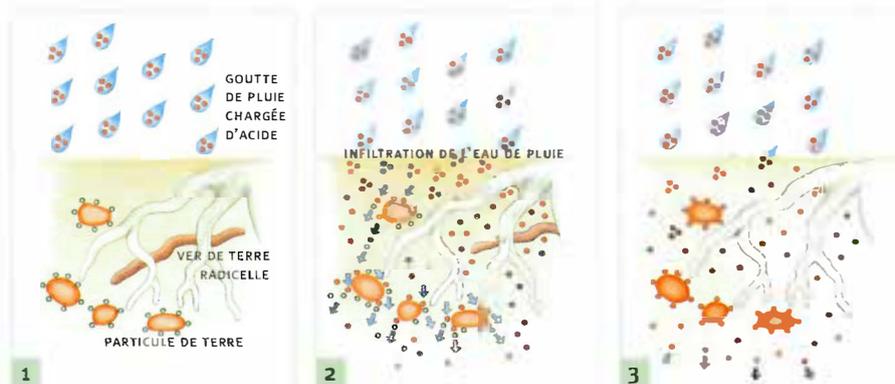
Un régime de plus en plus strict, allié à des stress climatiques: voilà ce qui mène les forêts à dépérir à petit feu!

L'appauvrissement du sol

Lorsque l'eau de pluie chargée d'acides s'infiltré dans le sol, elle entraîne une petite quantité d'éléments minéraux nutritifs (magnésium, potassium, calcium,...) bien en deçà de la zone où les racines peuvent les absorber. Ce phénomène, qui porte le nom de lessivage, s'accroît en fonction des dépôts d'acides nitrique et sulfurique et d'ammoniac. L'appauvrissement du terrain se traduit à terme chez les arbres, par l'apparition et l'aggravation de carences alimentaires. En Ardenne, les cas de déficience en magnésium semblent les plus fréquents.

LESSIVAGE DU SOL: PAS SI SIMPLE!

Les acides nitrique et sulfurique qui pénètrent dans le sol avec l'eau de pluie, y libèrent des protons (ou ions hydrogène : H^+). Ces derniers délogent alors les éléments minéraux (ions Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , etc.) qui étaient fixés à la surface des particules de terre. Les éléments nutritifs dont ils ont pris la place, sont alors emportés en zone profonde, par la percolation de l'eau. La participation de l'ammoniac à ce phénomène, passe par une transformation opérée par des bactéries du sol: la nitrification, qui libère des protons.



1 LA POLLUTION ACIDE APPAUVRIT LE SOL. ● PARTICULE ACIDE (H^+) ● ÉLÉMENTS MINÉRAUX NUTRITIFS

La libération de métaux toxiques

A partir d'un certain seuil d'acidification, le sol libère peu à peu de l'aluminium. Or, ce métal se révèle toxique pour les arbres. Il fait apparaître des nécroses (zones de cellules mortes) sur les racines et forme une sorte de barrière qui empêche celles-ci de fouiller convenablement le sol à la recherche d'éléments minéraux nutritifs. Les arbres sont donc contraints de se serrer un peu plus la ceinture!

En Ardenne, ce poison n'a pas encore atteint une concentration suffisante pour avoir des effets aigus (brutaux et à évolution rapide).

Une fertilisation déséquilibrée

Paradoxe: l'acide nitrique et l'ammoniac contribuent à appauvrir le sol forestier. Mais par ailleurs, ils peuvent être comparés à des engrais, puisqu'ils contiennent un élément nutritif important, l'azote. Dans un premier temps, ces polluants stimulent la croissance des arbres. Or ce bienfait ne dure pas, car l'approvisionnement en magnésium et autres éléments minéraux du sol ne suit pas. Le déséquilibre est manifeste et le stress alimentaire des arbres en est renforcé.

La raréfaction des vers de terre

Qui dit sol acide, dit vers de terre peu nombreux. Ce constat est lourd de conséquences pour la nutrition des arbres. En effet, avec l'aide d'insectes, de bactéries et de champignons microscopiques, les lombrics participent à la décomposition des feuilles mortes et autres débris forestiers (matières organiques) et à leur transformation en matières minérales. A la suite des dépôts de polluants atmosphériques, les arbres pâtissent donc d'un ravitaillement moins rapide.

La régression de champignons bien utiles

La pollution acide nuit aussi aux symbioses qui s'établissent entre de nombreux arbres forestiers et des champignons tels que les truffes, les bolets, les amanites, etc. Cette



CE CHAMPIGNON, LE PAXILLE ENROULÉ, SE TROUVE FRÉQUEMMENT À PROXIMITÉ D'UN CHÊNE.

association à bénéfiques réciproques - qui porte le nom savant de mycorhize - fonctionne grâce à l'union intime des radicelles de l'arbre et des minuscules filaments souterrains du champignon. Elle pourrait être libellée comme une petite annonce: «Echange sucres élaborés grâce à la photosynthèse contre approvisionnement accru en eau et en éléments minéraux».

Privés de ce partenariat, les arbres sont moins vigoureux. Voilà une raison supplémentaire de conclure que, sur sol acide, les arbres ont la vie dure.

Des dégâts occasionnés au feuillage
Pour provoquer des lésions au feuillage, la pollution de l'air doit être relativement concentrée. Cette condition est occasionnellement remplie en Ardenne. En hiver, par exemple, des brouillards particulièrement acides corrodent les aiguilles des épicéas: de petites plages de cellules mortes (nécroses) apparaissent à l'emplacement de chaque gouttelette d'eau. Mais même fortement endommagées, les aiguilles peuvent survivre. Il ne s'agit donc là que d'un stress additionnel pour les arbres malades.

Outre les acides nitrique et sulfurique, un autre polluant peut poser un problème:



DÉGÂTS PROVOQUÉS AUX AIGUILLES DE L'ÉPICÉA PAR DES BROUILLARDS ACIDES.

L'ozone de basse altitude, présent occasionnellement dans les forêts ardennaises à des concentrations élevées (on parle de «pics» d'ozone). Ce gaz s'introduit dans les feuilles ou les aiguilles par les stomates, de minuscules orifices qui régulent les échanges d'oxygène, de gaz carbonique (CO₂) et de vapeur d'eau que l'arbre effectue avec l'atmosphère lors de la respiration et de la photosynthèse. Par ses propriétés corrosives, l'ozone détériore l'enveloppe protectrice des cellules. A l'intérieur de celles-ci, des substances dérivées de l'ozone s'attaquent aux chloroplastes (les usines à photosynthèse des cellules végétales), dont elles détruisent le pigment vert (la chlorophylle). Des taches jaunâtres ou plus sombres apparaissent alors sur le feuillage.

Les préjudices causés au feuillage sont insuffisants pour provoquer à eux seuls le dépérissement de l'arbre, mais peuvent par contre avoir des répercussions importantes sur un sujet déjà malade. En effet, il y a perte d'éléments minéraux nutritifs au niveau des blessures dues aux polluants. Les carences alimentaires de l'arbre mal en point sont donc renforcées.

SES FILAMENTS SOUTERRAINS FORMENT UN RÉSEAU QUI ENTOURE LES RACINES ET AUGMENTE AINSI LEUR CAPACITÉ D'ABSORPTION.



FEUILLE DE HÊTRE ENDOMMAGÉE PAR L'OZONE.

Une maladie sous haute surveillance

Dès le début des années 80, les Etats-Unis, le Canada et de nombreux pays d'Europe ont mis sur pied des programmes nationaux de surveillance de la progression du mal des forêts.

La nécessité d'obtenir des résultats comparables, basés sur des critères d'appréciation identiques, s'est rapidement fait sentir à l'échelle européenne. Depuis 1986, le bilan de santé forestier est exécuté par le Programme International Concerté sur l'évaluation et la surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts (le PIC-forêts) de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies et de la Commission européenne. Le nombre de nations participant à cette surveillance s'est progressivement accru, pour atteindre la trentaine en 1994. (La Belgique collabore à cette entreprise depuis 1988.)

Plus d'une centaine de milliers d'arbres-échantillons sont ainsi «auscultés» chaque année (au sein d'un réseau de plus de 5.000 sites d'observation), pour permettre de dégager les tendances générales de l'évolution du dépérissement forestier sur



EN 1996

● FORÊT EN BONNE SANTÉ

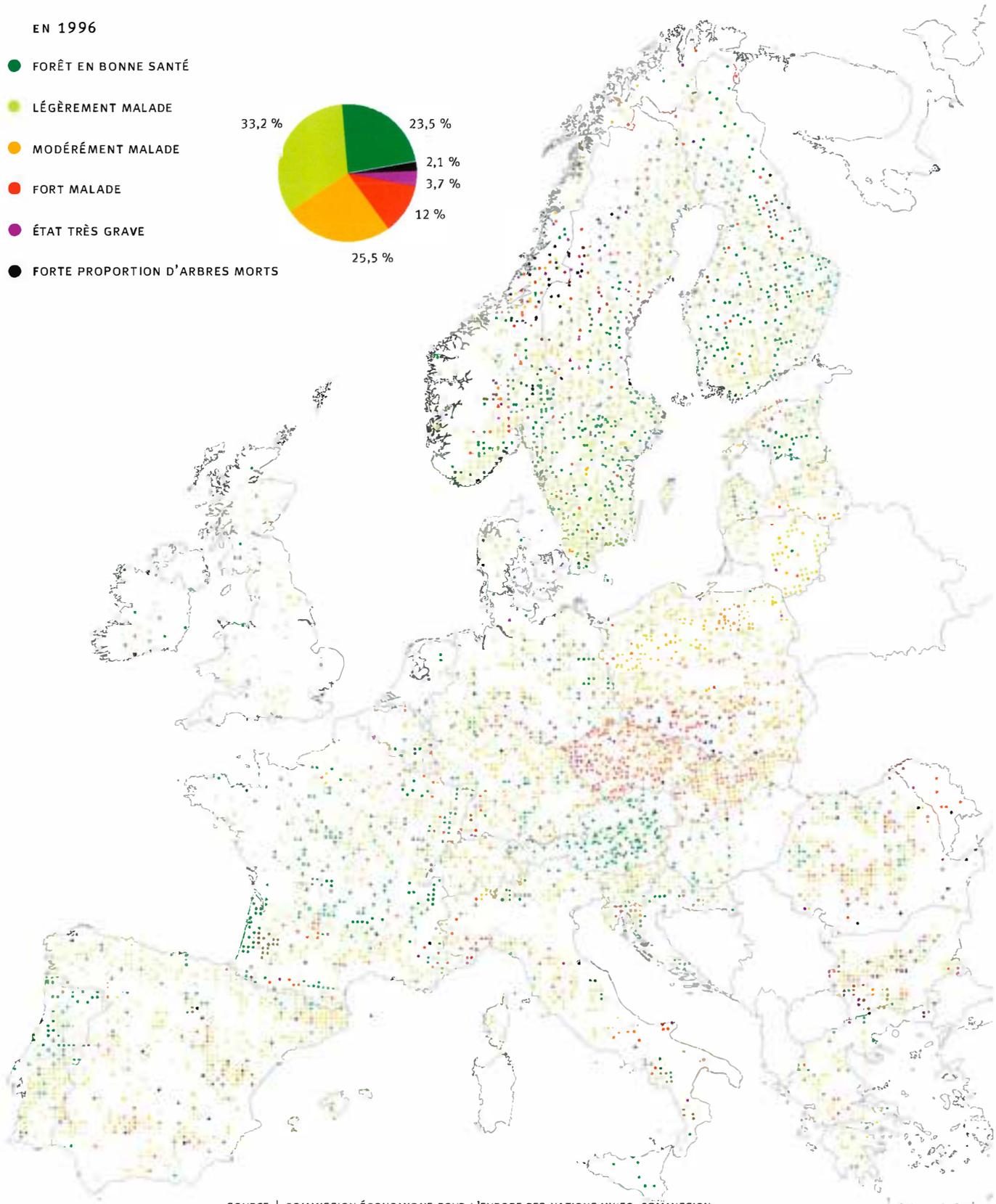
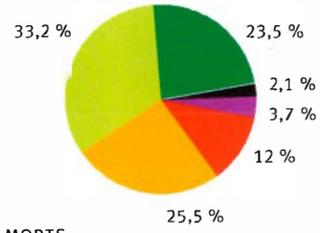
● LÉGÈREMENT MALADE

● MODÉRÉMENT MALADE

● FORT MALADE

● ÉTAT TRÈS GRAVE

● FORTE PROPORTION D'ARBRES MORTS



SOURCE | COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE DES NATIONS UNIES, COMMISSION EUROPÉENNE, ÉTAT DES FORÊTS EN EUROPE; RAPPORT DE SYNTHÈSE 1997.

notre continent. Et si l'on tient compte des inventaires nationaux, un total de plus de 600.000 arbres est actuellement examiné à la loupe.

En quoi consiste l'examen de santé d'un arbre? Il s'agit principalement d'estimer le pourcentage de feuilles (ou d'aiguilles) jaunies et tombées prématurément, afin de classer le sujet dans l'une des catégories suivantes: arbre sain, état instable, arbre malade, très malade ou mort.

D'une année à l'autre, l'évolution du nombre d'arbres appartenant à ces différentes catégories indique si le dépérissement des forêts stagne, s'aggrave ou, au contraire, régresse.

Les massifs boisés les plus atteints se situent en République tchèque, en Pologne et en Slovaquie: on y dénombre, respectivement 72%, 40% et 34% d'arbres dépérissants. Depuis la mise en place du PIC-Forêts, la situation de la majorité des forêts sous surveillance s'est détériorée. En Belgique par exemple, entre le premier et le dernier relevé, la proportion d'arbres mal en point est passée de 14,6 à 17,7 %.

Le tableau ci-dessous traduit en chiffres l'évolution de la santé des forêts dans notre pays, ainsi qu'aux quatre points cardinaux et au centre du réseau de surveillance européen, depuis qu'elle fait l'objet d'une appréciation.

ÉVOLUTION DU POURCENTAGE D'ARBRES DÉPÉRISSANTS POUR LA PÉRIODE 1986-1996

PAYS	POURCENTAGE D'ARBRES DÉPÉRISSANTS										
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Belgique				14.6	16.2	17.9	16.9	14.8	16.9	18.5	17.7
France	8.3	9.7	6.9	5.6	7.3	7.1	8.0	8.3	8.4	12.5	17.8
Italie				9.1	14.8	16.4	18.2	17.6	19.5	18.9	29.9
Norvège					18.2	19.7	26.2	24.9	27.5	28.8	29.4
Rep.tchèque						45.3	56.1	51.8	57.7	58.5	71.9
Roumanie						9.7	16.7	20.5	21.2	21.2	16.9

SOURCE | COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE DES NATIONS UNIES, COMMISSION EUROPÉENNE, ÉTAT DES FORÊTS EN EUROPE; RAPPORT DE SYNTHÈSE 1997. DONNÉES COMPLÉMENTAIRES: DIVISION DE LA NATURE ET DES FORÊTS, MINISTÈRE DE LA RÉGION WALLONNE.

BILAN DE SANTÉ 1996 DES FORÊTS EUROPÉENNES

NOTE | CERTAINES DIVERGENCES DE PART ET D'AUTRE DES FRONTIÈRES NATIONALES PEUVENT PROVENIR DE PETITES DIFFÉRENCES DANS LES MÉTHODES APPLIQUÉES. CECI NE REMÈT CEPENDANT PAS EN CAUSE LA FIABILITÉ DES TENDANCES À LONG TERME.

ISOLER LE RÔLE DE LA POLLUTION

ATMOSPHÉRIQUE DANS LE MAL DES FORÊTS? MISSION IMPOSSIBLE!

En réalité, les chercheurs sont incapables de déterminer la part spécifique de la pollution atmosphérique dans la maladie des forêts. Car le vieillissement précoce du feuillage est un symptôme atypique: il peut tout aussi bien traduire les effets d'une sécheresse, d'une attaque d'insectes ou de champignons, etc. Les programmes de surveillance permettent donc seulement de dresser un portrait global de l'état de santé des arbres.

| Des solutions...

Réduire la pollution atmosphérique. Depuis les années 70, d'importants efforts ont été réalisés par de nombreux pays de l'hémisphère Nord, afin de diminuer les émissions, dans l'atmosphère, de dioxyde de soufre. Pour ce faire, le secteur industriel a largement été mis à contribution et la teneur en soufre du pétrole et de ses dérivés (mazout de chauffage, gas-oil...) a été réduite. Mais il faut absolument faire mieux. En outre, il s'avère urgent de mettre en place une stratégie globale de lutte contre la pollution par les oxydes d'azote et l'ammoniac, en augmentation en raison de la croissance du trafic routier et de l'intensification de l'élevage. Enfin, les mesures doivent prendre en considération les hydrocarbures, car ces derniers participent, avec les oxydes d'azote, à la formation d'ozone en basse altitude. Point crucial: parvenir à des accords internationaux, car le transport des polluants dans l'atmosphère ignore les frontières politiques.

Trop facile de croire que la solution viendra uniquement des progrès technologiques et des nouveaux efforts consentis par le sec-

teur industriel! La mobilisation doit être générale. Tout citoyen a le devoir de combattre les gaspillages en tous genres qui participent à la pollution de l'atmosphère, par exemple en privilégiant le co-voiturage ou les transports en commun, en isolant son habitation de façon à économiser le chauffage central, etc.

En attendant une réussite encore hypothétique, d'autres actions doivent être envisagées à titres préventif et curatif, pour accroître la résistance des forêts à la pollution et aux autres facteurs de stress impliqués dans leur dépérissement. Quelques-unes de ces mesures sont explicitées ci-après.

Restaurer le potentiel nutritif des sols forestiers

Les arbres qui dépérissent souffrent notamment de difficultés alimentaires. Un remède (transitoire) adéquat consiste donc à épandre sur le sol forestier les éléments minéraux qui leur font le plus défaut. Il ne s'agit pas là d'une fertilisation du sol, mais d'un amendement, car l'objectif ne consiste pas à accroître les capacités nutritives du sol, mais à les restaurer.

Une analyse chimique du sol, complétée par une analyse du feuillage, permet de déterminer avec précision le «menu» à proposer aux arbres. Exemples: un manque de magnésium et de calcium peut être résolu par des apports de dolomie; une carence en calcium sera corrigée par de la chaux ou du calcaire. Ces amendements d'origine naturelle neutralisent en outre l'acidité du sol: un bon point pour les vers de terre et les champignons qui vivent en symbiose avec les racines – et donc un atout pour la nutrition des

arbres! D'autres éléments chimiques, notamment du potassium et du phosphore, peuvent aussi s'avérer nécessaires.

La restauration du potentiel nutritif du sol redonne de la vigueur aux arbres malades, à condition que des insectes, des bactéries, ou d'autres facteurs capables d'aggraver la situation, n'aient pas déjà fait leur apparition.

Cette pratique suscite cependant la grogne des milieux écologistes, qui s'étonnent de ce qu'à l'heure où les pouvoirs publics interviennent auprès des agriculteurs de l'Union européenne pour que ces derniers diminuent les apports d'engrais, les gestionnaires forestiers se lancent dans une pratique qui y ressemble...

La «faim» justifie-t-elle les moyens? Oui, selon certains, non selon d'autres...

Planter côte à côte des espèces complémentaires

Fait troublant: des arbres souffrant d'une carence alimentaire sont mélangés à des espèces en bonne santé. Certains arbres forestiers semblent donc éprouver nettement moins de difficultés que d'autres, à se nourrir sur des sols déficients. Exemples: des douglas en pleine forme voisinent avec des épicéas dépérissants; des chênes sessiles vigoureux côtoient des hêtres malades. Tout se passe comme si le douglas et le chêne sessile étaient capables d'absorber des formes de magnésium que les deux autres types d'arbres ne parviennent pas à «avalier». Dès lors, la décomposition du feuillage des premiers rend à nouveau disponibles pour les arbres carencés, des éléments minéraux qui leur faisaient défaut.

D'où l'idée d'introduire des chênes sessiles dans les hêtraies et des douglas dans les plantations d'épicéas, pour lutter contre les effets de l'appauvrissement du sol par les pluies acides.

D'une manière générale, les mélanges d'espèces favorisent une utilisation plus équilibrée des ressources du milieu (éléments minéraux, eau de pluie, lumière solaire...) et sont aussi plus stables vis-à-vis des caprices climatiques, des attaques d'insectes et autres aléas.

LA RÉGION WALLONNE À L'HONNEUR

A la suite du 10^{ème} Congrès mondial forestier et des conférences d'Helsinki et de Rio, la Région Wallonne s'est engagée à assurer la pérennité du patrimoine forestier wallon et notamment des forêts ardennaises. Dans cette optique, elle a mis à la disposition des gestionnaires forestiers publics et privés, des documents qui leur permettent de mieux concilier les aptitudes des diverses espèces d'arbres et les caractéristiques du site à planter. Il s'agit du Fichier écologique des essences (1991) et du Guide de boisement des stations forestières de Wallonie (1994).

En 1998, le Ministère de la Région Wallonne a également diffusé auprès des propriétaires forestiers publics, une circulaire conçue comme un Guide de bonnes pratiques des amendements, fournissant les conseils nécessaires pour optimiser la restauration du potentiel nutritif des sols appauvris par la pollution acide, tout en évitant les effets pervers redoutés par les milieux écologistes.

Planter moins serré

Augmenter l'écartement entre les arbres et pratiquer des éclaircies précoces et plus fortes, constitue un moyen de lutte supplémentaire contre le dépérissement des forêts. En effet, sous un couvert d'arbres moins dense, le sol reçoit plus d'eau et plus de lumière, ce qui accélère le travail des micro-organismes qui transforment les feuilles mortes et autres débris forestiers en éléments minéraux nécessaires aux arbres.

Planter des arbres bien adaptés à leur environnement

Il est un principe à respecter: les arbres résistent mieux à la pollution, aux acci-

dents climatiques, aux attaques d'insectes et aux autres facteurs du dépérissement, s'ils sont implantés dans un milieu dont les caractéristiques du sol (potentiel nutritif, degré d'acidité, humidité, profondeur, compacité,...) et du climat (pluviosité, vents, fréquence des gelées précoces et tardives,...) leur conviennent. Et chaque espèce forestière a ses propres exigences... A l'avenir, il faudrait donc privilégier des espèces bien adaptées aux caractéristiques de la région à (re)boiser. Exemples :

– une terre relativement pauvre ne conviendra ni au chêne pédonculé, ni au frêne, ni au merisier, mais le pin sylvestre, le bouleau pubescent et le bouleau verruqueux en feront leur affaire;

– si la région est soumise à de fréquentes gelées tardives (ou gelées printanières), le bouleau pubescent ne s'y plaira pas.

Les terrains très pauvres et acides poseront toujours un problème. Y imposer une limite à la production de bois sera nécessaire pour ne pas solliciter à l'excès les faibles capacités nutritives du sol.

NOS FORÊTS :
UN PATRIMOINE À SAUVEGARDER.



3 Les glaciers alpins ou l'effet de serre renforcé

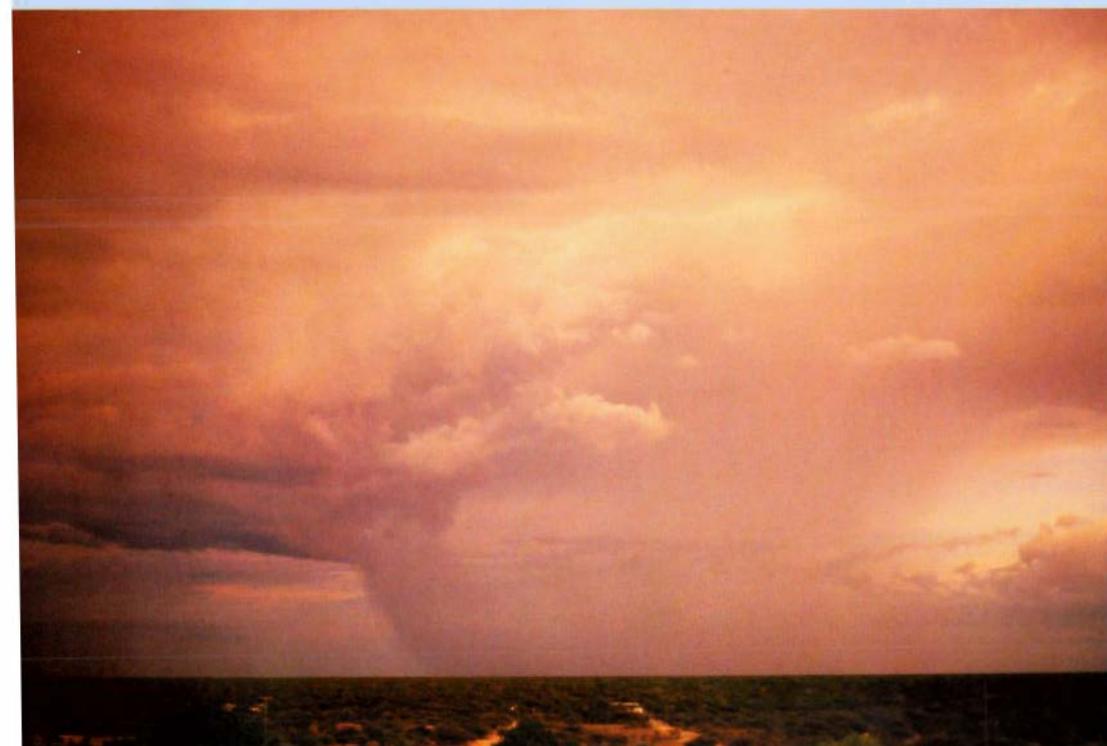


Vivre sur une terre fiévreuse...

Le climat de notre planète évolue en permanence. Or, nous ne savons pas très bien comment il évolue, et les choses se compliquent encore lorsqu'il s'agit de comprendre pourquoi il change sans cesse. Nous savons par exemple que le climat varie sur des périodes allant de quelques années à quelques millions d'années, mais nous en ignorons souvent les raisons exactes. Les grandes civilisations qui apparurent il y a environ 7.000 ans, n'ont connu aucun grand changement climatique. Elles ont pu ainsi se développer au cours d'une période où le climat était anormalement stable.

Depuis quelques années par contre, il est régulièrement question de l'effet de serre et du réchauffement de la planète. Ces deux notions sont même devenues des sujets chauds parmi les problèmes liés à l'environnement. Mais que se passe-t-il vraiment? Et quel est le rôle que peut jouer l'homme dans ce contexte?

| QUEL CLIMAT POUR DEMAIN?



| Le climat

Temps et climat

Avant d'approfondir le sujet des changements climatiques qui semblent avoir lieu actuellement, il est intéressant de se poser les questions suivantes: «Qu'est-ce que le climat?» et «Qu'est-ce qui le détermine?» Par «climat», on entend le temps «moyen» ou «à prévoir», ainsi que la variabilité de ses conditions. Le climat est décrit à l'aide de ses diverses caractéristiques (précipitations, température, degré d'humidité, ensoleillement, vitesse du vent,...). Contrairement au «temps» qui signale l'état de ces variables heure par heure ou jour par jour, le climat détaille celles-ci sur une période nettement plus longue - minimum trente ans - pour leur donner une certaine fiabilité et les rendre prévisibles.

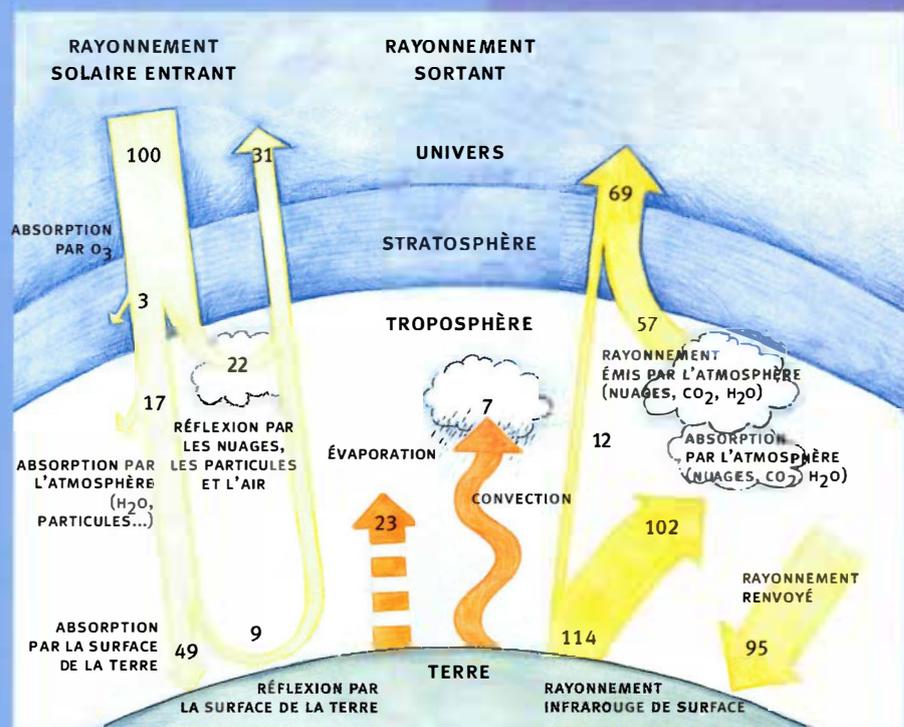
Le Soleil, moteur du climat

C'est le rayonnement du Soleil qui constitue la force motrice du système climatique. Il représente en effet une forme d'énergie. Le Soleil fournit ainsi le combustible qui permet d'actionner tous les mouvements de l'atmosphère et des océans. En dehors des rayons ultraviolets et infrarouges, le rayonnement du Soleil est constitué en majeure partie de lumière visible. La moitié environ des rayons solaires est absorbée par la surface de la Terre. Une partie des 50% restants (3/5) est renvoyée dans l'espace (notamment par les nuages), et le reste (2/5) est absorbé par l'atmosphère. La partie absorbée par la croûte terrestre sert d'une part au réchauffement et à l'évaporation de l'eau des océans, et d'autre part à chauffer le continent et les masses d'air qui le dominent. Cet air chauffé se dilate et monte dans l'atmosphère. Ce processus est appelé convection.

Chauffée par le Soleil, la Terre dégage aussi de la chaleur (rayonnement ther-

mique de la Terre). Ces rayons ne sont pas visibles et se situent dans la partie infrarouge (IR) du spectre. On parle parfois aussi des longues ondes du rayonnement de la Terre, par opposition aux ondes courtes du rayonnement solaire. Certains gaz présents dans l'atmosphère, comme la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, sont capables d'absorber une partie de ce rayonnement terrestre infrarouge.

Globalement, la quantité d'énergie du rayonnement incident est égale à la quantité d'énergie réfléchie, et le bilan thermique de la Terre est donc en équilibre. De ce fait, la température moyenne sur la Terre reste relativement constante. Tout processus qui agit sur ce bilan thermique modifie par conséquent le climat global.



ÉQUILIBRE DES RAYONNEMENTS DE LA TERRE. 49% DES RAYONS SOLAIRES INCIDENTS SONT ABSORBÉS PAR LA SURFACE DE LA TERRE, ET 31% SONT RENVOYÉS DANS L'ESPACE (NOTAMMENT PAR LES NUAGES). LES 20% RESTANTS SONT ABSORBÉS PAR L'ATMOSPHÈRE. LA TERRE DÉGAGE AUSSI UN RAYONNEMENT THERMIQUE INFRAROUGE, DONT UNE PARTIE IMPORTANTE EST ABSORBÉE ET RÉÉMISE PAR L'ATMOSPHÈRE. LES CHIFFRES REPRÉSENTENT LES POURCENTAGES D'ÉNERGIE PRODUITE PAR LE RAYONNEMENT INCIDENT. GLOBALEMENT, LE BILAN THERMIQUE DE LA TERRE EST EN ÉQUILIBRE. LA QUANTITÉ D'ÉNERGIE RÉFLÉCHIE (31% + 69%) EST EN EFFET ÉGALE À LA QUANTITÉ DE RAYONNEMENT INCIDENT (100%).

| L'effet de serre

L'effet de serre atmosphérique

L'air est un mélange de gaz parmi lesquels on trouve du dioxyde de carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau (H_2O). Ces gaz ont la propriété de laisser passer le rayonnement solaire (ondes courtes), mais de retenir les rayons émis par la Terre (ondes longues). Du fait que l'atmosphère absorbe ainsi une partie du rayonnement terrestre, elle se réchauffe encore un peu. Ces mêmes gaz envoient à leur tour des rayons infrarouges dans toutes les directions, notamment vers la surface de la Terre.

En conséquence, celle-ci est chauffée d'une part par le rayonnement solaire direct, d'autre part par le rayonnement infrarouge renvoyé par l'atmosphère. L'effet de serre atmosphérique est ce petit supplément de rayons infrarouges que la Terre reçoit. Tout comme les parois en verre d'une serre laissent pénétrer la lumière du Soleil, mais retiennent une partie de la chaleur, les gaz qui produisent un effet similaire dans l'atmosphère sont appelés gaz à effet de serre. (Etant donné que dans une serre, l'air chauffé ne peut s'échapper, la comparaison avec l'effet atmosphérique n'est pas tout à fait exacte. C'est pourquoi certains scientifiques préfèrent parler de l'effet de réchauffement atmosphérique. Ces deux notions couvrent toutefois le même phénomène.)

On peut donc comparer les gaz à effet de serre présents dans l'air, à une espèce de couverture isolante qui veille à ce qu'une partie du rayonnement thermique de la Terre ne se perde pas dans l'espace. La vapeur d'eau et le dioxyde de carbone sont de loin les gaz à effet de serre les plus importants. Mais d'autres gaz présents dans

l'atmosphère en quantités infinitésimales (moins de 0,0003%) jouent le même rôle. Sans cet ensemble de gaz, la température moyenne sur la Terre serait inférieure de 33 degrés à ce qu'elle est actuellement.

Grâce à eux, la température moyenne de la surface de la Terre est donc de 15°C au lieu de -18°C ! L'effet de serre est un phénomène tout à fait naturel. Il n'est pas l'apanage de notre planète. Il a par exemple été observé sur Mars et Vénus. L'atmosphère très dense de Vénus se compose à raison de plus de 98% de CO_2 et de H_2O , et produit un effet de serre de 466°C !

Par contraste, l'air très raréfié de Mars, composé presque exclusivement du CO_2 , est tout de même réchauffé de 3°C . La température de Vénus atteint ainsi 427°C , tandis que sur Mars, l'air est extrêmement froid (-53°C). Sur la Terre, l'effet de serre assure des conditions idéales (15°C) pour le développement de la vie...

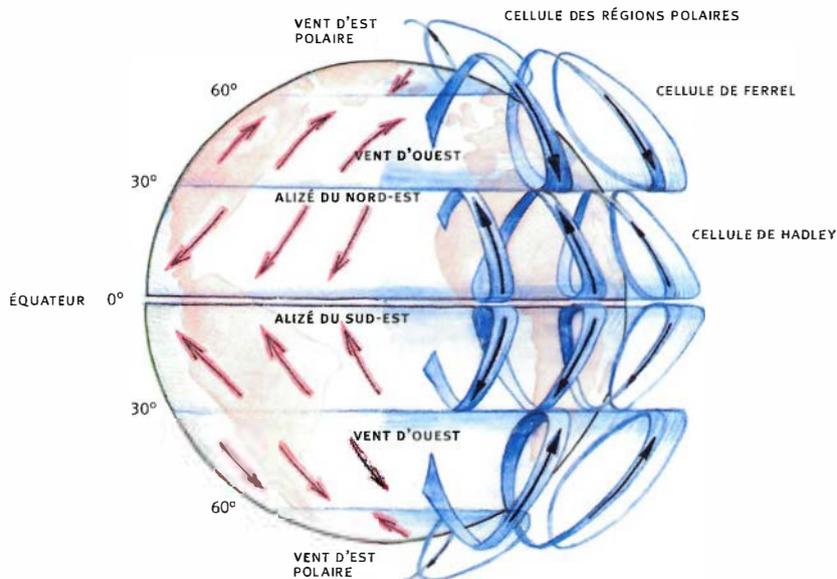
Le système climatique

Le climat global dépend de l'équilibre entre le rayonnement du Soleil et celui de la Terre. Le système climatique est néanmoins très complexe. Il est considérablement influencé par cinq éléments interactifs: l'atmosphère (l'air), l'hydrosphère (les océans, les fleuves,...), la cryosphère (les zones de glace et de neige), la biosphère (l'ensemble des organismes vivants) et la géosphère (les continents).

L'atmosphère influence le climat par son rôle primordial non seulement dans le maintien de l'équilibre des rayonnements (énergie), mais aussi dans la répartition de l'énergie sur la Terre. Comme le réchauffement de la Terre est nettement plus intense à l'équateur qu'aux pôles, l'air circule sur toute la planète. L'air tropical chaud monte et se déplace à haute altitude vers les pôles. A la surface de la Terre, l'air plus froid des régions tempérées se dirige à son tour en sens inverse vers l'équateur. En gros, il se crée ainsi, à l'échelle du globe, trois cellules de circulation atmosphérique. Cette circulation

CONTRIBUTION DES PRINCIPAUX GAZ À EFFET DE SERRE À L'AUGMENTATION DE 33°C DE LA TEMPÉRATURE, DUE À L'EFFET DE SERRE NATUREL DE L'ATMOSPHÈRE

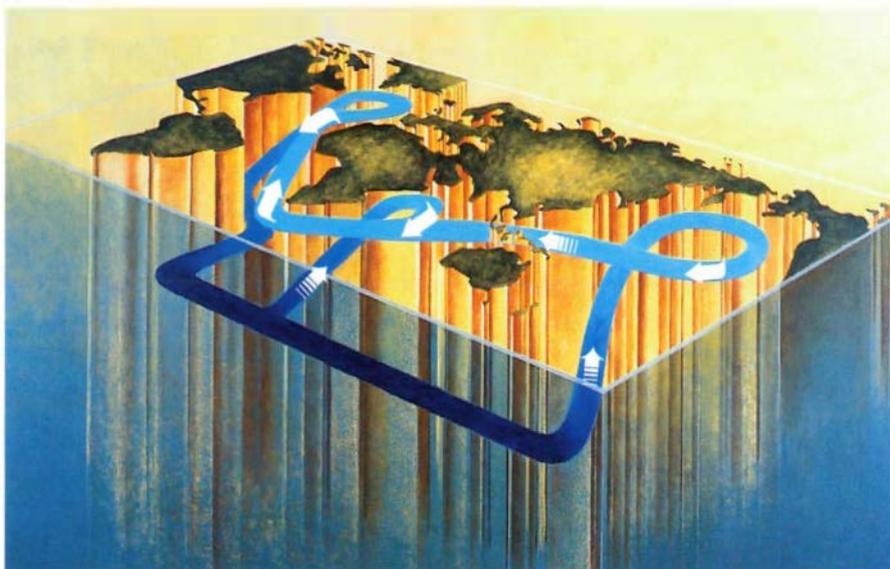
GAZ À EFFET DE SERRE	CONTRIBUTION À L'EFFET DE SERRE
H_2O (vapeur d'eau)	$20,5^\circ\text{C}$
CO_2 (dioxyde de carbone)	$7,0^\circ\text{C}$
O_3 (ozone)	$2,5^\circ\text{C}$
N_2O	$1,5^\circ\text{C}$
CH_4 (méthane)	$1,0^\circ\text{C}$
Autres gaz	$0,5^\circ\text{C}$



REPRÉSENTATION SIMPLIFIÉE DES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE. À L'ÉQUATEUR, L'AIR CHAUD MONTE (JUSQU'À 20 KM D'ALTITUDE) ET SE DÉPLACE VERS LES PÔLES (FLÈCHES BLEUES). À UNE LATITUDE DE 30° ENVIRON, L'AIR EST REFROIDI ET DESCEND. LÀ OÙ L'AIR MONTE, IL SE FORME DES ZONES DE BASSE PRESSION, LÀ OÙ IL DESCEND, DES ZONES DE HAUTE PRESSION. UNE PARTIE DE L'AIR REFROIDI RETOURNE VERS L'ÉQUATEUR EN SE DÉPLAÇANT À LA SURFACE DE LA TERRE. EN GROS, LE GLOBE EST AINSI DIVISÉ EN TROIS CELLULES DE CIRCULATION. COMME LA TERRE TOURNE, L'AIR À SA SURFACE NE SUIT PAS EXACTEMENT LE MÉRIDIEN. C'EST POURQUOI ENTRE 30° DE LATITUDE ET L'ÉQUATEUR, CE SONT LES ALIZÉS DU SECTEUR NORD-EST QUI SOUFFLENT, TANDIS QUE SOUS NOS LATITUDES, C'EST LE VENT D'OUEST QUI DOMINE (FLÈCHES ROUGES). DANS L'HÉMISPHERE SUD, C'EST EXACTEMENT L'INVERSE.

produit à la surface de la Terre des systèmes de vent de caractère plus ou moins permanent. Un deuxième aspect important de l'atmosphère est le profil vertical très variable de la température. Ce sont surtout la troposphère (0-12 km) et la stratosphère (12-50 km) qui jouent un rôle important au niveau du climat. Pour plus de détails au sujet du profil de la température de l'atmosphère, voir le chapitre intitulé «Antarctique et le trou dans la couche d'ozone». L'hydrosphère assure également une fonction très importante.

En effet, les océans absorbent (et stockent) d'énormes quantités de chaleur solaire. L'eau de mer s'évapore de ce fait. Des nuages se forment et transmettent à l'atmosphère la chaleur accumulée. De plus, des courants océaniques thermohalins transportent des quantités considérables de chaleur à travers toute la Terre. L'arrêt éventuel de cette circulation générale provoquerait des changements climatiques radicaux. La température de la zone entourant l'Atlantique Nord chuterait par exemple de 6°C.



LA CIRCULATION THERMOHALINE

En dehors des courants marins horizontaux, des courants verticaux importants parcourent aussi les mers. L'eau de mer relativement chaude de l'océan Atlantique, qui afflue vers les pôles, se refroidit et s'évapore lentement. Une fois arrivée à proximité du Groenland, l'eau devenue très froide et très salée (donc plus lourde) coule vers les profondeurs de l'océan. Cette circulation est dite thermohaline, car elle est causée par des différences de densité de l'eau, dues à des différences de température (thermo) et de salinité (haline).

A quelques milliers de mètres de profondeur, l'eau froide et salée repart vers le Sud, en direction de l'Afrique du Sud. De là, elle coule vers l'océan Pacifique, en devenant progressivement plus chaude et moins salée. Quelques siècles plus tard, elle remonte à la surface, au Nord du Pacifique, avec un embranchement dans l'océan Indien. Arrivée à destination, comme elle est plus chaude et moins salée, à quelques centaines de mètres de profondeur, elle retourne dans l'Atlantique en passant par l'Afrique du Sud. Et le circuit est bouclé!

DES COURANTS OCÉANIQUES THERMOHALINS TRANSPORTENT DES QUANTITÉS CONSIDÉRABLES DE CHALEUR À TRAVERS TOUTE LA TERRE.

La circulation superficielle, entraînée en partie par le vent marin dominant, peut aussi avoir des répercussions locales considérables sur le climat régional. Le Gulf Stream en est un exemple. Ce courant marin chaud qui circule du Golfe du Mexique vers l'Europe septentrionale, crée dans cette région un climat nettement plus chaud que d'habitude à une latitude comparable. Sans ce courant, il ferait quelques degrés plus froid dans le Nord de l'Europe (et donc chez nous).

La cryosphère, c.-à-d. l'ensemble des glaces continentales et des glaces flottantes, revêt une influence majeure, car elle réfléchit une grande partie des rayons solaires - phénomène qui se répercute sur l'équilibre énergétique de la Terre. Certaines parties de l'Antarctique notamment renvoient plus de 90% du rayonnement solaire incident, alors que l'albédo planétaire (surface de la Terre + atmosphère) n'atteint que 30%.

L'ensemble des plantes, des animaux et des êtres humains vivant à la surface du globe - la biosphère -, influence aussi le climat. Ainsi, l'albédo des bois (0,15) est inférieur à celui des déserts (0,3). La présence de vastes forêts continentales, ou de plaines désertiques sans fin, influence sans aucun doute le système climatique. Les plantes absorbent du CO_2 , et les animaux émettent du CO_2 et du méthane, deux gaz à effet de serre prononcé. D'énormes quantités de CO_2 atmosphérique sont absorbées par le phytoplancton océanique, et contrôlent ainsi l'effet de serre naturel. Les océans «aspirent» donc le CO_2 de l'atmosphère.

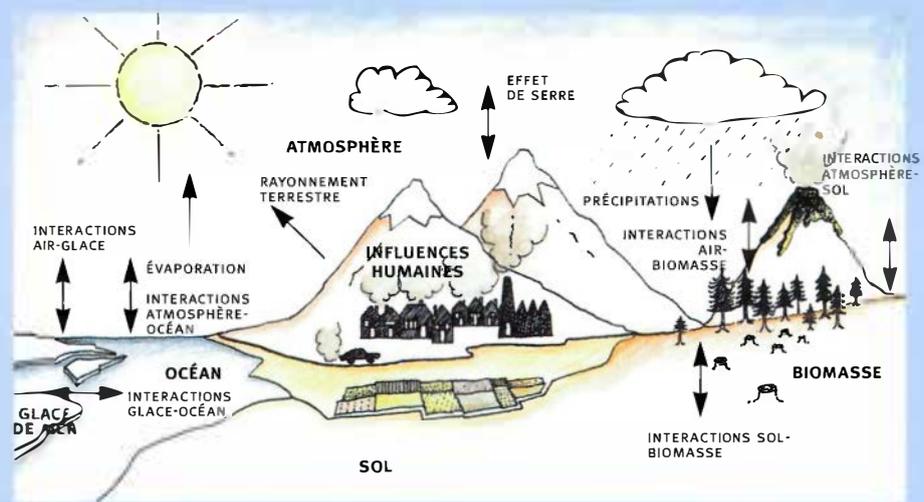
La géosphère enfin agit (quoiqu'extrêmement lentement) sur le climat, par l'intermédiaire des montagnes qui dévient la

circulation atmosphérique. En outre, les mouvements des continents à la surface de la Terre jouent un rôle climatique important, qui s'étend cette fois sur des dizaines de millions d'années. Les continents peuvent en effet gêner la circulation océanique en direction des pôles. Pendant la plus grande partie de l'histoire de la Terre, l'eau des océans a circulé librement entre les tropiques et les régions polaires, empêchant ainsi la formation de glace. De ce fait, la Terre absorbait plus de rayonnement solaire (albédo inférieur) et le climat était donc plus chaud. A court terme, les éruptions volcaniques perturbent parfois aussi considérablement le climat terrestre. Ce dernier exemple prouve une fois encore à quel point ces divers éléments

agissent les uns sur les autres, et montre de quelle manière ils peuvent influencer aussi bien le climat général que le climat local. Il faut donc toujours considérer le climat comme un système complexe englobant l'atmosphère, la biosphère, les océans, la glace et les continents. La moindre modification du système entraîne un changement de climat. Peut-être faudrait-il aussi ajouter un sixième élément: l'homme!

Les glaciers alpins rétrécissent

Au cours de ces 100 à 150 dernières années, de nombreux glaciers de montagne du monde entier ont rétréci. Etant donné que les grands glaciers d'Europe se situent dans des régions peuplées depuis



APERÇU SCHÉMATIQUE DES ÉLÉMENTS DU SYSTÈME CLIMATIQUE, DE LEURS PROCESSUS ET DE LEUR INTERACTION. SOURCE | GIEC

L'ALBÉDO

L'albédo d'une surface est une mesure qui exprime sa capacité de réflexion, à savoir la quantité de rayons qu'elle réfléchit. Une surface parfaitement réfléchissante a un albédo égal à 1. Les surfaces blanches et la neige ou la glace ont un albédo élevé, de l'ordre de 0,8 à 0,9. Un albédo nul indique une surface parfaitement absorbante. L'albédo des zones foncées comme les bois et les océans, est très faible (0,1 à 0,3). Ces zones réfléchissent peu de rayons solaires (mais en absorbent beaucoup). Faites l'expérience de porter un T-shirt noir, puis un T-shirt blanc en plein soleil. Vous comprendrez tout de suite la différence entre un albédo bas et un albédo élevé!



①



②



③

FONTE DU GLACIER DE GRINDELWALD AU COURS DE 200 DERNIÈRES ANNÉES.

① : 1820 ② : 1860 ③ : 1974

des centaines d'années, nous disposons pour certains d'entre eux de mesures remontant aux années 1600. Celles-ci nous permettent de conclure que cette évolution est particulièrement spectaculaire depuis la seconde moitié du siècle dernier. Tous les glaciers ne fondent pas, cependant. Certains se développent, par exemple aux endroits où les précipitations sont particulièrement abondantes. Malgré cela, la diminution du volume des glaciers de montagne s'est quasi généralisée au cours des 150 dernières années. La situation des glaciers alpins, surtout, est véritablement dramatique: depuis la fin du XIX^e siècle, ils ont perdu près de la moitié de leur masse. Cette évolution à l'échelle mondiale a vraisemblablement une seule et unique cause mondiale.

La raison la plus couramment avancée est un changement du climat. Cette explication semble évidente, car le climat général s'est en effet modifié depuis le siècle dernier. Ainsi, depuis la fin du XIX^e, une hausse d'environ 0,5°C de la température moyenne de l'air à la surface de la Terre, a

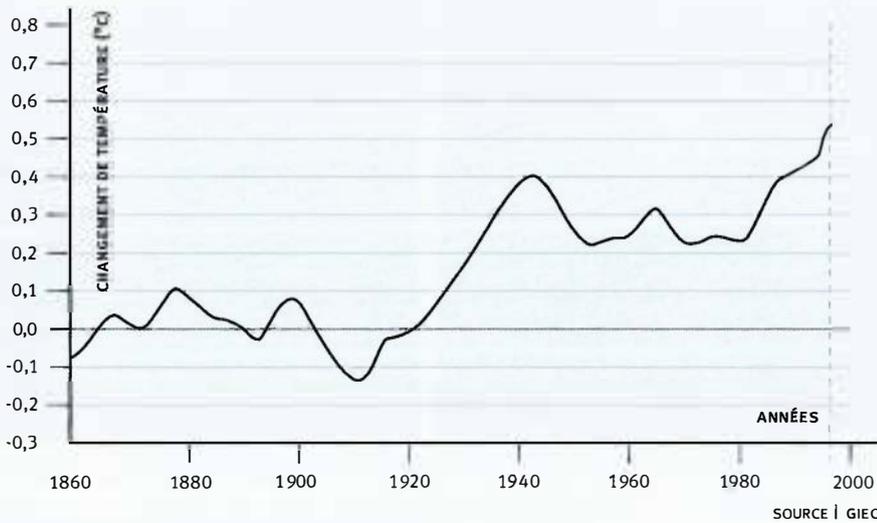
été constatée. En outre, ces dernières années font partie des plus chaudes depuis l'invention des mesures instrumentales en 1860. De plus, la température moyenne en été, enregistrée dans l'hémisphère Nord (Europe, Amérique du Nord et Asie occidentale) au cours de la décennie écoulée, s'avère la plus élevée depuis l'an 1400 au moins. La variation observée diffère toutefois selon les endroits. Le réchauffement récent était plus marqué dans l'hémisphère Nord, entre 40°N et 70°N. D'autres régions, comme les latitudes tempérées du Pacifique et la partie septentrionale de l'Atlantique Nord, se sont en revanche rafraîchies au cours des dernières décennies.

Par ailleurs, au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle, l'élévation de la température moyenne nocturne a été légèrement supérieure à celle de la température diurne. Et pour terminer, toujours pendant la même période, un peu plus haut au-dessus de nos têtes, la température de la troposphère a faiblement augmenté, alors que celle de la stratosphère a

GLACIERS ET CLIMAT

Bien que la diminution et l'augmentation du volume des glaciers soient expliquées par la plupart des climatologues en termes de changements de climat, la relation entre le climat et le volume des glaciers n'est pas toujours aussi claire.

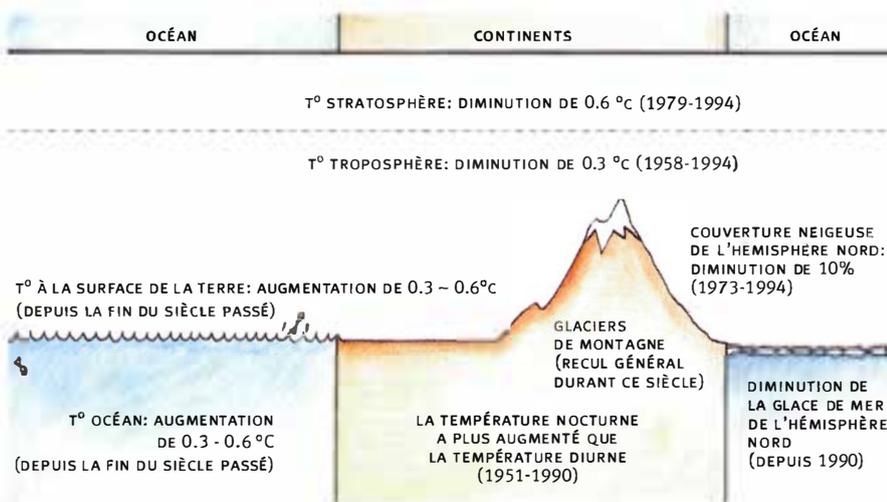
Depuis le milieu du siècle dernier, une fonte généralisée des glaciers a été constatée. Or, les températures enregistrées n'indiquent un réchauffement à l'échelle mondiale qu'à partir de 1920, soit un bon demi-siècle après le début de la fonte des glaciers. Celle-ci pourrait s'expliquer par la quantité accrue des rayons infrarouges de l'atmosphère réfléchis vers la Terre, résultant de l'augmentation sensible de la proportion de CO₂ dans l'atmosphère depuis le début de la révolution industrielle. La température d'un glacier ne peut en effet dépasser 0°C. Par ailleurs, les glaciers réagissent toujours avec un certain retard. Selon son volume, un glacier ne se modifie que 10 à 50 ans après un changement de climat. Ce qui explique pourquoi on note actuellement un arrêt ou un ralentissement de la fonte de certains glaciers. Il est probable qu'il s'agisse là d'une réaction à la légère baisse de température enregistrée entre 1940 et 1975. C'est comme si chaque glacier portait en lui toute l'histoire du climat!



DEPUIS LA FIN DU SIÈCLE DERNIER, LA TEMPÉRATURE MOYENNE DE L'AIR À LA SURFACE DE LA TERRE A SUBI UNE HAUSSE DE 0,5°C.

diminué de plus d'un demi-degré ces vingt dernières années. D'autres éléments trahissent un changement du climat terrestre. Ainsi, à la suite du réchauffement général, le niveau de la mer a grimpé de 10 à 25 cm, en cent ans (principalement à cause de la dilatation thermique des océans devenus plus chauds). Notre siècle a connu une légère intensification des précipitations au-dessus des continents. La

masse des nuages dominant les océans a suivi la même évolution en dix ans. Pour clôturer ce volet du climat, nous ajouterons que dans l'hémisphère Nord, la superficie totale des terres enneigées s'est sensiblement amenuisée ces vingt dernières années. Il est donc évident que notre climat change. Mais faut-il s'inquiéter? N'a-t-il pas toujours subi des variations?



APERÇU DES TENDANCES CLIMATIQUES DEPUIS LE DÉBUT DES MESURES AVEC INSTRUMENTS, À LA FIN DU SIÈCLE DERNIER.

SOURCE | GIEC

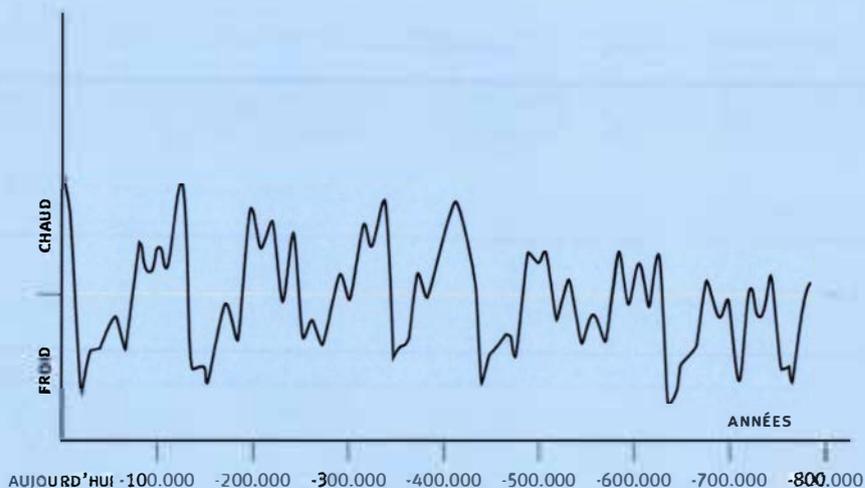
Variations naturelles du climat

Le climat du temps passé

Depuis la naissance de la Terre, le climat n'a jamais cessé de changer. Dans nos régions, il y a 100 millions d'années, les dinosaures évoluaient dans un environnement tropical, chaud et humide. Il n'était pas encore question de glace aux pôles. Cinquante millions d'années plus tard environ, la Terre a commencé à se refroidir lentement. Des calottes glaciaires sont apparues aux pôles. La neige et la glace se sont accumulées au sommet des montagnes, et se sont mises à former des glaciers. Il y a deux millions d'années, même les continents étaient couverts de glace. Ces calottes glaciaires continentales s'étendaient sur toute l'Amérique du Nord, ainsi que sur l'Europe septentrionale et centrale (Pays-Bas, Allemagne, Angleterre). Au cours des périodes plus froides (périodes glaciaires ou glaciations) qui duraient 50.000 à 100.000 ans, les glaces s'étendaient, tandis que pendant les périodes plus chaudes (périodes interglaciaires) d'une durée moyenne de 15.000 ans, elles fondaient partiellement. Cette succession de périodes glaciaires et interglaciaires s'est poursuivie avec une grande régularité tout au long des deux derniers millions d'années. Au cours des périodes froides, il faisait 5 à 10°C de moins. Cette évolution quasi cyclique est liée aux variations naturelles du mouvement de la Terre autour du Soleil (voir ci-après: La théorie astronomique). De ce fait, la quantité et la répartition du rayonnement solaire capté par la Terre changent aussi.

Nous passons actuellement par une période interglaciaire succédant à la dernière glaciation qui s'est terminée il y a

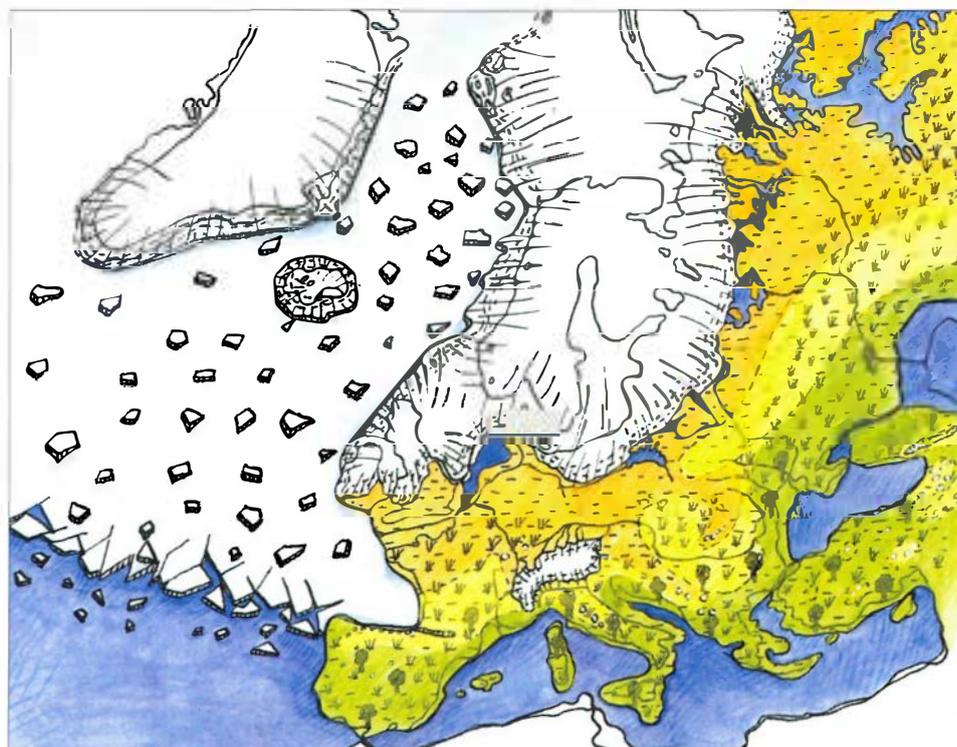
quelque 12.000 ans. La température maximale (environ 2°C de plus que maintenant) fut atteinte 6.000 ans plus tôt. Depuis lors, elle ne cesse de baisser lentement, avec pour conséquence un retour des vastes glaciers alpins. Les calottes glaciaires continentales, par contre, ne se sont pas remises à s'étendre. Ce refroidissement devrait encore durer 5.000 ans environ. Quelques périodes plus froides se succéderont ensuite, notamment dans les 20.000 ans qui suivront, jusqu'à ce que, dans quelque 55.000 ans, une véritable glaciation frappe la Terre.



LE CLIMAT DES 800.000 DERNIÈRES ANNÉES SE CARACTÉRISE PAR UNE SUCCESSION DE PÉRIODES FROIDES ET CHAUDES.

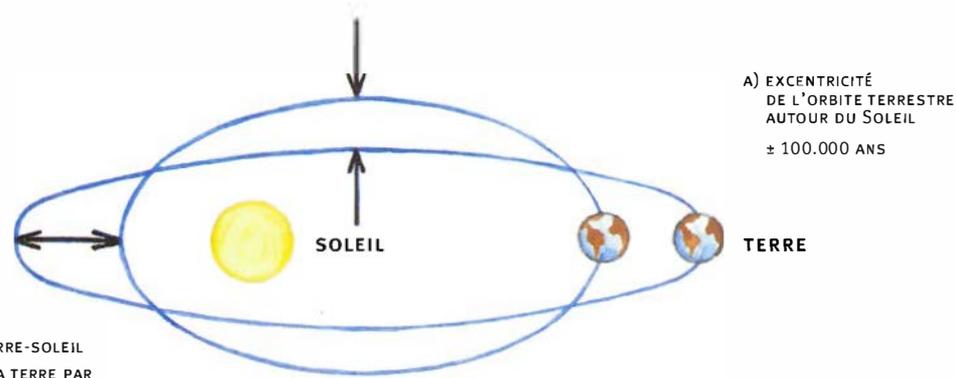
LA DERNIÈRE GLACIATION

La dernière période glaciaire a eu lieu, il y a entre 115.000 et 12.000 ans. La température dans nos régions était alors inférieure de 5 à 10°C à celle que nous connaissons aujourd'hui. L'inlandsis (glacier continental) scandinave recouvrait le Danemark et une bonne partie de la Grande-Bretagne et de l'Irlande. La Suisse aussi était presque entièrement engloutie sous d'immenses glaciers. En Belgique, le climat était comparable à celui des steppes actuelles d'Asie du Nord. Le paysage était dominé par une végétation de style steppe-toundra. La quantité d'eau immobilisée dans les glaciers était telle que le niveau de la mer était 100 m plus bas qu'actuellement. La mer du Nord était « à sec », et il était possible d'atteindre l'Angleterre à pied, en s'équipant évidemment contre le froid terrible qui sévissait.



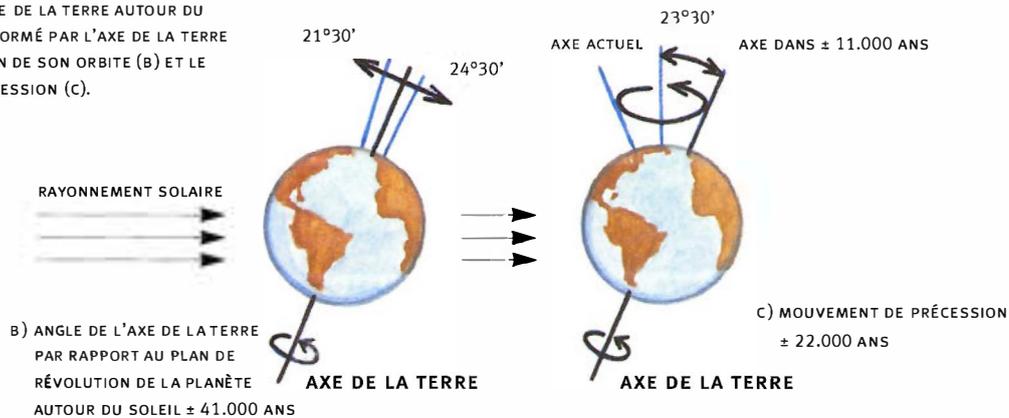
-  CALOTTE GLACIÈRE CONTINENTALE
-  BANQUISE
-  FRONTIÈRE DE LA GLACE DE MER (EN HIVER)
-  OCÉAN OUVERT
-  ABSENCE DE VÉGÉTATION
DÉSERT POLAIRE OU TOUNDRA
-  HERBES OU BUISSONS
-  HERBES ET/OU BUISSONS
TOUNDRA OU STEPPE
PARTIELLEMENT BOISÉE
-  HERBES ET/OU BUISSONS
STEPPE OU PÂTURAGE OUVERT
PARTIELLEMENT BOISÉE

CROISSANCE MAXIMALE DES CALOTTES GLACIÈRES CONTINENTALES EN EUROPE, IL Y A DE 20.000 À 18.000 ANS. EN HIVER, LES GLACES DE L'Océan ATLANTIQUE S'ÉTENDAIENT JUSQU'AU NORD DE L'ESPAGNE.



A) EXCENTRICITÉ DE L'ORBITE TERRESTRE AUTOUR DU SOLEIL
± 100.000 ANS

DES MODIFICATIONS DE LA DISTANCE TERRE-SOLEIL ET LA POSITION RELATIVE DE L'AXE DE LA TERRE PAR RAPPORT AU SOLEIL INFLUENCENT LA QUANTITÉ ET LA RÉPARTITION DU RAYONNEMENT SOLAIRE CAPTÉ: LA FORME DE L'ORBITE DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL (A), L'ANGLE FORMÉ PAR L'AXE DE LA TERRE PAR RAPPORT AU PLAN DE SON ORBITE (B) ET LE MOUVEMENT DE PRÉCESSION (C).



B) ANGLE DE L'AXE DE LA TERRE PAR RAPPORT AU PLAN DE RÉVOLUTION DE LA PLANÈTE AUTOUR DU SOLEIL ± 41.000 ANS

C) MOUVEMENT DE PRÉCESSION ± 22.000 ANS

LA THÉORIE ASTRONOMIQUE

Dans les années 20, le géophysicien yougoslave Milutin Milankovitch (1879-1958) re travailla et précisa quelques idées émises dès le XIX^e siècle, au sujet de la cause des variations climatiques. Sa théorie astronomique (baptisée théorie de Milankovitch) décrit comment la position de la Terre par rapport à celle du Soleil détermine la quantité et la répartition du rayonnement solaire capté. Etant donné que l'orbite décrite par la Terre autour du Soleil varie entre une forme presque circulaire et une forme plus elliptique ou ovale (sur une période de 100.000 ans), la Terre n'est pas toujours à la même distance du Soleil.

Par conséquent, la quantité de rayons solaires que la Terre reçoit varie aussi. Plus la trajectoire de la Terre autour du Soleil est elliptique, plus la différence entre l'été et l'hiver est importante. La répartition du rayonnement solaire capté sur tout le globe terrestre dépend principalement de deux facteurs complémentaires. Le premier est l'inclinaison de l'axe

autour duquel la Terre tourne une fois par jour, par rapport au plan orbital. Sur une période de 41.000 ans, l'angle formé varie entre 21,5° et 24,5° (valeur actuelle = 23°27'). Dans la partie septentrionale de la Terre, plus cet angle est grand, plus l'ensoleillement est intense en été et faible en hiver.

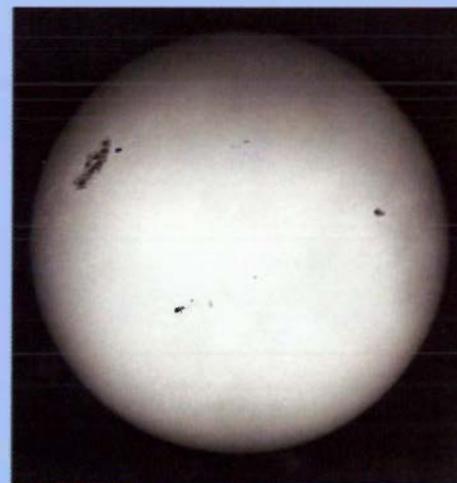
Par contre, plus l'angle est petit, moins les saisons diffèrent: pour un angle de 0° (position verticale de l'axe de rotation) – situation imaginaire –, il n'y aurait plus de saisons! Le deuxième facteur intervenant en dehors de la forme de l'orbite, est le mouvement de précession de l'axe de rotation terrestre. Sous l'influence de la force d'attraction que d'autres corps célestes – principalement la Lune et Jupiter – exercent sur notre globe qui n'est pas parfaitement sphérique (la Terre est légèrement aplatie aux pôles et dilatée à l'équateur), cet axe effectue un mouvement de toupie. Ce mouvement agit sur l'intensité des saisons sur une période de 22.000 ans, et explique le

déplacement des saisons dans le temps. Actuellement, la Terre se rapproche le plus du Soleil au milieu de l'hiver dans l'hémisphère Nord (et donc au milieu de l'été dans l'hémisphère Sud). Dans 11.000 ans à peu près, la distance entre la Terre et le Soleil sera minimale au milieu de l'été (dans l'hémisphère Nord). Nos étés seront donc plus chauds et nos hivers plus froids. La quantité de rayonnement solaire dont la Terre bénéficie au fil des millénaires dépend de la combinaison de ces trois variables. La façon dont celles-ci influencent notre climat (et de là, la succession cyclique de périodes plus chaudes et plus froides) n'est pas très claire. Ce rayonnement variable agit en effet sur le système climatique global, et nous ne savons donc pas l'usage que font de cette énergie l'atmosphère, la géosphère, l'hydrosphère, la biosphère et la cryosphère. En plus, différents mécanismes de rétroaction (voir plus loin) difficilement prévisibles, déterminent simultanément le climat mondial.

Toutefois, même sur une période de 1.000 ans, d'importantes modifications du climat peuvent survenir. En raison de son climat doux, la période entre 900 et 1300 est parfois baptisée «l'Optimum médiéval». Au cours de cet épisode chaud, l'Angleterre et nos régions étaient de gros producteurs de vin. Grâce à la fonte d'une partie de la calotte glaciaire arctique, les Vikings ont pu s'établir en Islande et au Groenland. Certains atteignirent même l'Amérique. Entre 1400 et 1850 par contre, le climat s'est refroidi. La température moyenne n'était «que» de 1,5°C plus froide que maintenant, mais les hivers étaient longs et rigoureux, et les étés courts et humides.

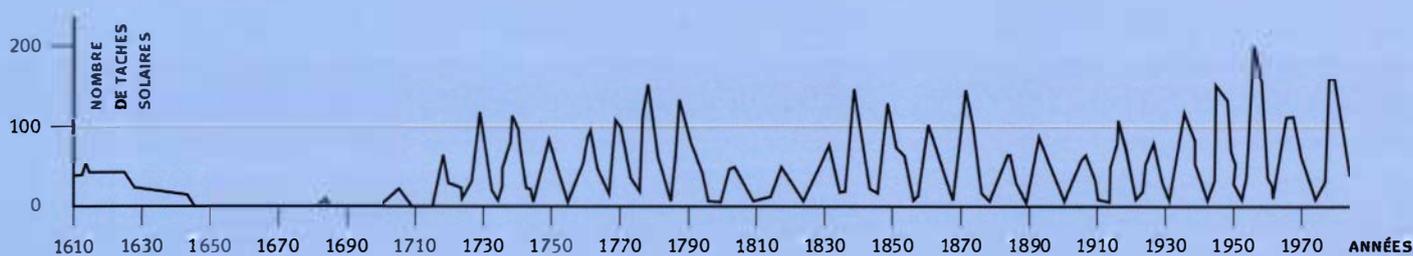
En Europe, pendant cette période, connue sous le nom de «petit âge glaciaire», les glaciers alpins s'étendirent rapidement, tandis que la Tamise (Grande-Bretagne) et le Tage (Portugal) gelaient régulièrement.

A l'époque, des kermesses annuelles étaient même organisées sur la Tamise. Ce «petit âge glaciaire» fut catastrophique pour les colonies vikings installées au Groenland, qui se trouvèrent isolées du reste du monde par la progression des glaces de l'Atlantique Nord, et finirent par disparaître. Par la force des choses, les vignes disparurent aussi de nos régions. Bien qu'aucune explication satisfaisante n'ait encore été trouvée pour ce refroidissement temporaire, différentes théories ont été avancées: affaiblissement de l'activité solaire, multiplication des éruptions volcaniques, disparition momentanée ou déplacement de la ramification septentrionale du Gulf Stream (voir encadré ci-dessous).



LE NOMBRE DE TACHES SOLAIRES EST PROPORTIONNEL À L'ACTIVITÉ DE CET ASTRE. SUR CETTE IMAGE, PLUSIEURS (GROUPES DE) TACHES SOLAIRES SONT VISIBLES. ELLES SONT GÉNÉRALEMENT ENTOURÉES DE TACHES CLAIRES. BIEN QUE PLUS FROIDES QUE LA PHOTOSPHÈRE, LES TACHES SOLAIRES FORMENT LA BASE DE ZONES GÉNÉRALEMENT TRÈS ACTIVES DE LA CHROMOSPHERE ET DE LA COURONNE, LES COUCHES EXTÉRIEURES DU SOLEIL.

LE CYCLE DE 11 ANS DES TACHES SOLAIRES EST LE PLUS CONNU. AU COURS D'UNE DES PÉRIODES LES PLUS FROIDES DU «PETIT ÂGE GLACIAIRE» (1640-1710), TRÈS PEU DE TACHES SOLAIRES FURENT OBSERVÉES, ET CE CYCLE ÉTAIT QUASI INEXISTANT.



CAUSES DES FLUCTUATIONS CLIMATIQUES MINEURES

Depuis la fin de la dernière glaciation, il y a environ 12.000 ans, le climat est resté relativement stable. Néanmoins, quelques petites variations climatiques ont bien eu lieu sur une période de quelques centaines à quelques milliers d'années. Ce fut le cas notamment du 'petit âge glaciaire'. Les raisons de ces variations climatiques ne sont pas toujours claires. Un bref aperçu de quelques causes envisageables:

VARIATION DE L'ACTIVITÉ SOLAIRE

L'énergie totale émise par le Soleil n'est pas constante. Elle fluctue sur quelques jours à quelques décennies. Plus l'activité du Soleil est intense, plus il se couvre de taches. C'est ainsi qu'un minimum d'activité solaire, déduit du comptage visuel du nombre de taches, a coïncidé avec une des périodes les plus froides du «petit âge glaciaire». Nous connaissons actuellement différents cycles

(11, 22, 85, 200 et 2.400 ans) au bout desquels l'activité solaire varie périodiquement. Les modèles climatiques indiquent toutefois que le changement cyclique seul n'est pas suffisant pour entraîner les variations climatiques observées.



ÉRUPTIONS VOLCANIQUES

Quelques mois après une éruption volcanique importante, un léger refroidissement est toujours constaté. Les énormes quantités de poussière et de dioxyde de soufre projetées dans la haute atmosphère font écran à la lumière solaire incidente, et provoquent de ce fait un refroidissement général. L'éruption récente du Mont Pinatubo aux Philippines (juin 1991), par exemple, a résulté en une température globale légèrement inférieure (0,2 - 0,3°C) qui a persisté jusqu'en 1993. L'impact de l'éruption de 1816 du Tambora en Indonésie, la plus terrible éruption jamais mentionnée dans les livres d'histoire, était nettement plus grave encore. Il se traduisit par quelques années extrêmement froides en Europe et en Amérique du Nord. Si en plus, une série d'éruptions successives se poursuit, un refroidissement à long terme du climat mondial peut survenir. Des scientifiques ont démontré que le 'petit âge glaciaire' avait connu des épisodes d'activité volcanique considérable, contrairement à l'Optimum médiéval (1100-1300) pendant lequel il y eut peu d'éruptions.

CIRCULATION OCÉANIQUE

Actuellement, l'Europe occidentale bénéficie d'un climat relativement doux, grâce à la chaleur apportée par le Gulf Stream. Ce courant fait partie de la circulation océanique générale. Une légère variation de cette circulation peut influencer considérablement le climat en certains endroits. Si le Gulf Stream s'affaiblissait fortement, par exemple, la température de l'Europe diminuerait de quelques degrés. De telles modifications se déroulent généralement sur plusieurs centaines d'années, quoique des études récentes suggèrent qu'elles pourraient survenir brutalement (en moins de 100 ans).

De son côté, El Niño est un phénomène naturel complexe qui se reproduit tous les 3 à 5 ans. Une énorme masse d'eau chaude se déplaçant du Pacifique vers l'Amérique du Sud, provoque chaque fois d'importantes perturbations climatiques.

Cette circulation anormale s'accompagne en effet d'un amoncellement extraordinaire de nuages perturbant le sens habituel des vents à une altitude de 8 à 15 km. Ces vents modifiés à haute altitude peuvent influencer la position

UNE GRANDE ÉRUPTION VOLCANIQUE PROJETTE DANS L'ATMOSPHERE D'ÉNORMES QUANTITÉS DE POUSSIÈRE ET DE DIOXYDE DE SOUFRE, QUI, À COURT TERME, REFOUDDISSENT LE CLIMAT GLOBAL.

du jet-stream au-dessus du Pacifique Nord, et bouleverser gravement le climat en différentes régions. Le phénomène El Niño a notamment entraîné des inondations catastrophiques et des mouvements de terrain aux Etats-Unis, au Pérou et à Cuba, des pluies diluviennes dans l'ouest de l'Amérique du Nord, une sécheresse catastrophique en Afrique du Sud, en Australie et en Indonésie, une chaleur insupportable en Floride, et des cyclones à Hawaï et à Tahiti. Les épisodes de 1982-1983 et 1997-1998 furent particulièrement dramatiques. L'El Niño de 1982-1983 a coûté deux mille vies humaines et provoqué la fuite de centaines de milliers de personnes. (Le total des dégâts a été évalué à 500 milliards BEF.) Cette apparition quasi périodique du phénomène pourrait être à la base des fluctuations climatiques mineures observées sur quelques décennies, au cours des 500 dernières années.

630

RECONSTITUTION DU CLIMAT DE NOS ANCÊTRES

A court terme (quelques milliers d'années), des informations peuvent être puisées dans les écrits des chroniqueurs des siècles passés. Ces derniers évoquaient entre autres - même s'ils le faisaient de manière subjective - la rigueur exceptionnelle des hivers, la terrible famine, ou les inondations désastreuses qui frappaient le pays. Les peintures reflètent également les conditions climatiques de chaque époque. C'est ainsi que pendant le «petit âge glaciaire», une multitude de paysages d'hiver furent peints, notamment par Pierre Breughel le Jeune. L'étude des cernes des arbres (dendroclimatologie) nous fournit des informations relatives au climat du passé. Pendant sa croissance, l'arbre produit chaque année une nouvelle couche de bois, sous son écorce. Une coupe du tronc permet de distinguer les différents cernes résultant de la croissance annuelle de l'arbre. L'épaisseur de chaque cerne dépend de la température, du degré d'humidité et de l'ensoleillement locaux. Certains conifères nous permettent ainsi de retourner 8.500 ans en arrière!



LES PAYSAGES D'HIVER IDYLLIQUES DU «PETIT ÂGE GLACIAIRE» INSPIRÈRENT UNE MULTITUDE DE PEINTRES (D'APRÈS UNE TOILE DE P. BREUGHEL LE JEUNE).

LES COUCHES ANNUELLES DE GLACE DÉPOSÉES SUR LE GLACIER DE QUELCCAYA EN AMÉRIQUE DU SUD SONT NETTEMENT VISIBLES.

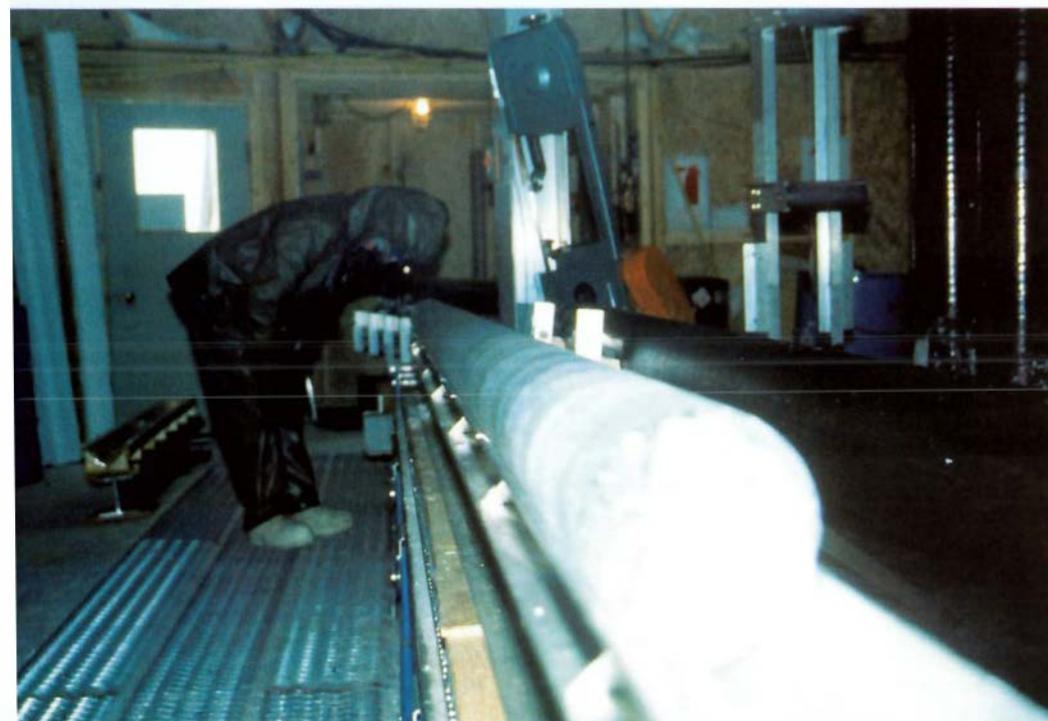




Pour remonter encore plus loin dans le temps (plus de 100.000 ans), il «suffit» de se rendre dans les régions polaires. Pour étudier les couches de glace les plus anciennes couvrant l'Antarctique, il faut forer la glace sur quelques kilomètres de profondeur, pour arriver à une couche âgée de 500.000 ans. La couche de glace la plus ancienne du Groenland n'a «que» 250.000 ans. Les différentes couches de la calotte glaciaire se sont constituées grâce à la neige tombée au fil des années. Une analyse d'une carotte de glace de 2 km de long et de 10 cm de diamètre, découpée en tranches, permet de déduire assez précisément le climat local d'une époque donnée.

La température de l'air qui régnait au moment où la neige s'est déposée sur le sol, est déduite du rapport entre les deux «types» d'eau qui composent la glace: l'eau «ordinaire» et l'«eau lourde». L'eau «ordinaire» contient, en dehors de ses deux atomes d'hydrogène, un atome d'oxygène ordinaire (^{16}O). L'eau «lourde» contient un atome lourd d'oxygène (^{18}O), à la place de l'atome ordinaire. La proportion est d'environ un atome d'oxygène lourd pour 500 atomes d'oxygène ordinaire. En fait, les deux molécules d'eau sont sensiblement identiques, et se trouvent à l'état naturel dans les océans. L'eau contenant des atomes lourds pèse seulement un peu plus. De ce fait, elle a besoin de plus d'énergie pour s'évaporer. Si le climat est chaud, il y a donc proportionnellement plus d'eau «lourde» qui s'est évaporée et qui se retrouve ensuite dans la neige recouvrant le sol. Une analyse de la proportion entre ces deux types d'eau donne par conséquent une idée du climat de l'époque.

Par ailleurs, les flocons de neige qui tombent en tourbillonnant, sont séparés par des bulles d'air qui seront emprisonnées dans les amas de neige s'accumulant sur le sol. Une analyse de la teneur en CO_2 de ces bulles d'air permet

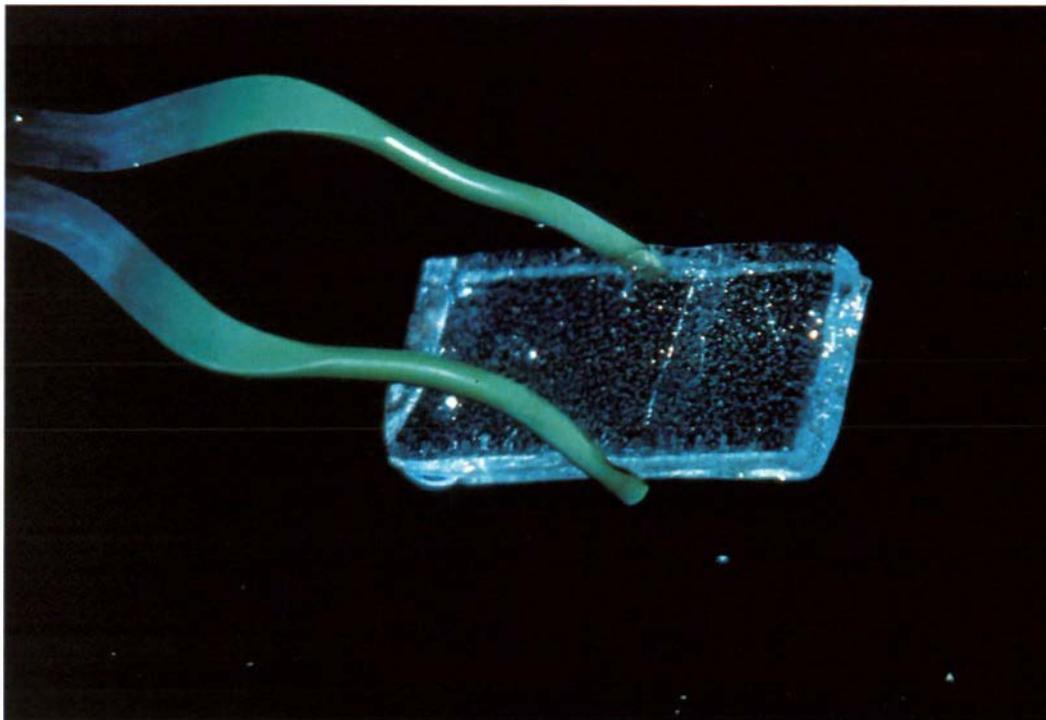


de se faire une idée de la concentration variable en CO_2 de l'atmosphère au fil des millénaires. Il ressort de mesures effectuées sur des carottes de glace prélevées à Vostok, en Antarctique, que la concentration en CO_2 de l'atmosphère évolue à peu près parallèlement à la température (voir graphique p.55).

Un raisonnement similaire peut s'appliquer aux atomes d'oxygène contenus dans le carbonate (CaCO_3) des coquilles fossiles des millions de petits animaux marins qui, après leur mort, ont sédimentés au fond des océans. Les atomes d'oxygène (CaCO_3) trouvés dans ces coquilles proviennent de l'eau. Quand le climat est plus chaud, l'océan contient moins d'eau «lourde» et on trouve donc moins de carbonate «lourd» dans les coquillages. L'examen d'échantillons prélevés au fond de la mer permet donc de remonter plusieurs millions d'années dans le temps. L'étude des sédiments du fond des lacs, des dépôts coralliens dans les couches profondes de glace, ainsi que des sédiments marins ou terrestres, fournit également des informations intéressantes concernant les paléoclimats.

L'ÉTUDE DES CAROTTES DE GLACE PERMET DE REMONTER TRÈS LOIN DANS LE TEMPS, AFIN DE RECONSTITUER AVEC ASSEZ BIEN DE PRÉCISION LE CLIMAT PASSÉ.

- TOUR DE FORAGE DANS LA RÉGION DE SUMMIT (GROENLAND).
- LA CAROTTE DE GLACE EST MESURÉE, MUNIE D'UNE ÉTIQUETTE PORTANT DES INFORMATIONS TECHNIQUES (LONGUEUR, TEMPÉRATURE, FISSURES ÉVENTUELLES, ...), ET COUPÉE EN MORCEAUX DE 2 MÈTRES DE LONG POUR ÊTRE CONSERVÉE.
- UNE TABLE ÉCLAIRÉE PERMET AUX CHERCHEURS DE COMPTER EXACTEMENT LE NOMBRE DE «CERNES» DE LA CAROTTE GLACIAIRE.
- UNE PETITE TRANCHE DE CAROTTE PRÊTE POUR UNE ANALYSE CHIMIQUE. ON DISTINGUE CLAIREMENT DANS LA GLACE DES BULLES D'AIR PROVENANT D'UNE ATMOSPHÈRE TRÈS ANCIENNE.



Mécanismes de rétroaction

On considère que le climat global est stable. Il arrive que certains événements le dérèglent temporairement, mais il tendra chaque fois vers une espèce d'équilibre dynamique. Le système climatique cherche constamment à s'adapter aux perturbations. Un changement survenant dans une partie du système se transmet en cascade à tout le système; et il devient alors difficile d'évaluer avec exactitude son impact sur le climat. Ce problème est dû principalement au fait que le système climatique peut répondre aux variations imposées soit en les renforçant (rétroaction positive), soit en les inhibant (rétroaction négative). Un exemple: le mécanisme de rétroaction glace-albédo (également appelé *feed-back* glace-albédo). Supposons que la Terre se réchauffe à la suite d'une augmentation de la quantité de rayonnement solaire captée, due à un changement de sa position par rapport au Soleil. Logiquement, certaines parties de la calotte glaciaire et des glaciers se mettront à fondre, dénudant de vastes surfaces de terre ou d'océan. Etant donné que l'albédo (capacité de réflexion) de ces surfaces est inférieur à celui de la glace, la quantité de rayonnement solaire réfléchi sera moins grande et de là, la quantité absorbée supérieure.

De ce fait, le réchauffement s'amplifie, la glace et la neige continuent à fondre, découvrant de plus en plus de surfaces absorbantes... Il s'agit donc d'une spirale à l'intérieur de laquelle la Terre se réchauffe de plus en plus. C'est là un exemple de rétroaction positive. La rétroaction est par contre négative quand l'effet d'un changement déterminé produit l'effet contraire sur ce même changement, et l'annule donc (partiellement). Le mécanisme de rétroaction des nuages en est un exemple. Partons de nouveau d'un réchauffement de la Terre dû à des circonstances atmosphériques. La hausse de température entraîne une augmentation de l'évaporation de l'eau des océans. La quantité de vapeur d'eau accrue amplifie à son tour la nébulosité. Or, plus le temps est couvert, plus la quantité de rayonnement solaire réfléchi dans l'espace est élevée, d'où une

baisse de la température générale de la Terre. Au départ d'un réchauffement, c'est l'effet inverse qui est obtenu, à savoir un refroidissement.

Ces exemples montrent combien les phénomènes de rétroaction sont complexes et difficiles à prévoir. En effet, nous avons déjà expliqué que la vapeur d'eau atmosphérique est responsable d'un réchauffement de 20,5°C par un effet de serre naturel, cette vapeur d'eau étant le principal gaz à effet de serre. Nous avons donc affaire ici aussi à un mécanisme de rétroaction vapeur d'eau-augmentation de la température.

En outre, les nuages sont également susceptibles d'absorber le rayonnement thermique de la Terre, et donc de renforcer l'effet de serre. La nature positive ou négative de la rétroaction causée par les nuages est tributaire de leur altitude, de leur température et de leurs propriétés réfléchissantes. Il est dès lors particulièrement difficile de prévoir si la Terre se refroidira à cause de la multiplication des nuages, ou si elle continuera à se réchauffer en raison du renforcement de la concentration en vapeur d'eau et de l'absorption du rayonnement thermique. Il existe toute une série d'autres mécanismes de rétroaction,



mais nous en resterons là. Tout ceci explique pourquoi, en présence d'un problème climatique particulier, les spécialistes fourniront un large éventail de conséquences possibles, plutôt qu'une description détaillée de l'importance et de la localisation exacte du réchauffement.

Variations climatiques naturelles: conclusion

Résumons-nous. Sur 10.000 à 100.000 ans, des facteurs astronomiques déterminent la quantité et la répartition du rayonnement solaire incident, et jouent un rôle prépondérant dans le passage d'une période glaciaire à une période interglaciaire. Ces variations du rayonnement déclenchent, à l'intérieur du système climatique complexe, de nombreux mécanismes de rétroaction influençant le climat général. A plus courte échéance (de quelques décennies à quelques millénaires), ce sont surtout la variabilité de l'activité solaire, des modifications de la circulation océanique, et les éruptions volcaniques qui interviennent. A n'importe quel moment, le climat général dépend finalement de la combinaison de tous les facteurs évoqués qui fixent le budget rayonnement dont bénéficie la Terre.



LE BRÛLAGE DES FORÊTS TROPICALES LIBÈRE, EN PLUS DES OXYDES D'AZOTE ET DES AÉROSOLS, D'ÉNORMES QUANTITÉS DE CO₂ ET DE CH₄. DES MODIFICATIONS DE L'UTILISATION DU SOL JOUENT UN RÔLE IMPORTANT AU NIVEAU DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DANS LES RÉGIONS TROPICALES.

I L'homme et le climat

Nous avons vu que la hausse de la température moyenne de ces 100 dernières années pourrait tout simplement résulter de variations climatiques naturelles. Mais il nous reste à tenir compte de l'homme. Ce dernier modifie indubitablement la composition de l'air qu'il respire. Et comme l'atmosphère est un des principaux éléments du système climatique, il est possible que l'homme participe à la modification du climat. Examinons à présent cette hypothèse de plus près...

Modification de la composition de l'atmosphère depuis 1750

La Terre a subi des changements considérables depuis 1750 (date du début de la révolution industrielle), et en particulier depuis le commencement de ce siècle. En dehors d'un développement industriel colossal, associé à une pollution atmosphérique à grande échelle sans précédent, elle a connu une explosion

démographique invraisemblable. La population mondiale est en effet passée de 1 milliard d'individus en 1800, à 2,5 milliards en 1950, pour atteindre près de 6 milliards aujourd'hui. Ces deux facteurs entraînent évidemment une demande toujours accrue d'énergie, avec toutes les conséquences que ces besoins impliquent pour l'environnement.

Les principaux coupables sont les combustibles fossiles: charbon, pétrole et gaz naturel. Leur combustion s'accompagne en effet de la production d'énormes quantités de dioxyde de carbone (CO₂), un gaz à effet de serre important. Par ailleurs, le brûlage des forêts tropicales et la production de ciment libèrent également du CO₂. Depuis 1750, une augmentation de 30% de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère a été constatée. Du fait que ce supplément n'est pas émis naturellement mais bien rejeté par l'homme, il ne contribue pas à l'effet de serre naturel, mais à ce qu'on appelle l'effet de serre «renforcé». La contribution relative de l'émission de CO₂ résultant d'activités humaines à cet effet renforcé dépasse les 60%!

LES REJETS MONDIAUX DE DIOXYDE DE CARBONE PAR L'INDUSTRIE ET LE TRANSPORT CONTRIBUENT À L'EFFET DE SERRE RENFORCÉ À CONCURRENCE DE 40%.



CONTRIBUTION RELATIVE DES DIFFÉRENTS SECTEURS À L'EFFET DE SERRE RENFORCÉ (À L'ÉCHELLE MONDIALE)

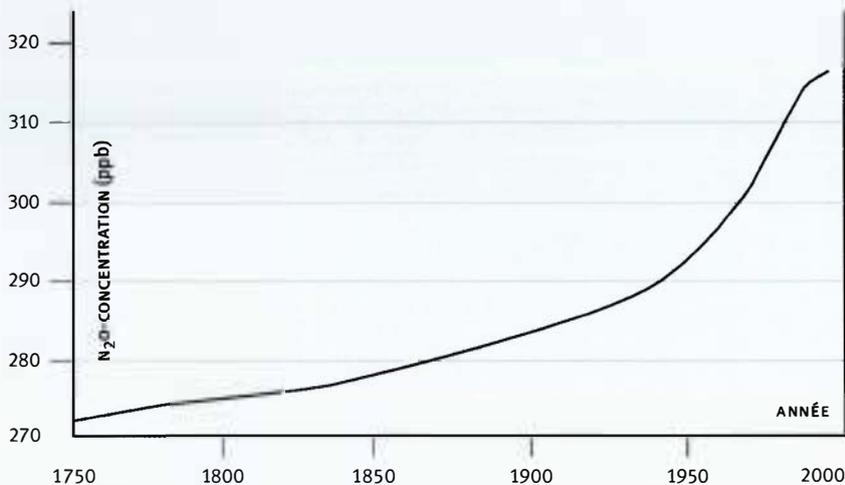
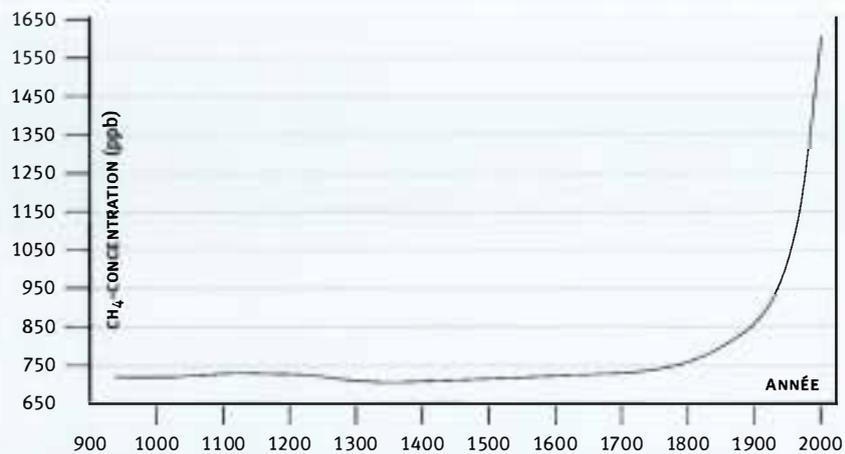
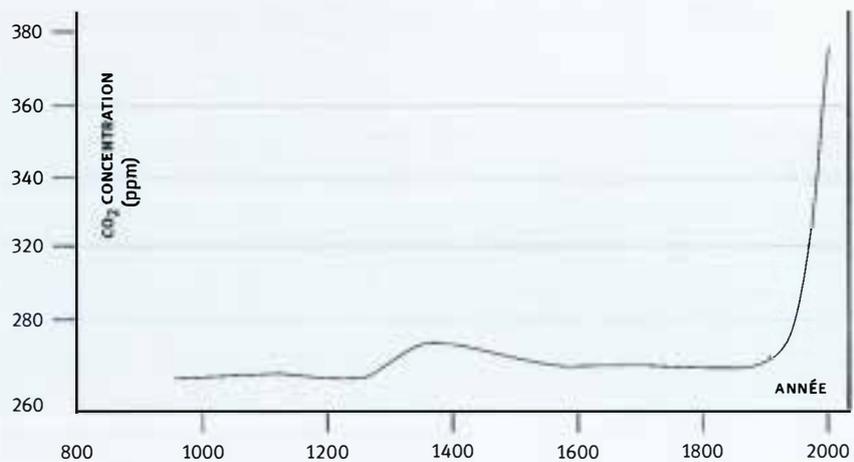
SECTEUR	CONTRIBUTION À L'EFFET DE SERRE RENFORCÉ
Activités domestiques	16%
Industrie	18%
Déforestation tropicale	20%
Transports	23%
Centrales électriques	23%

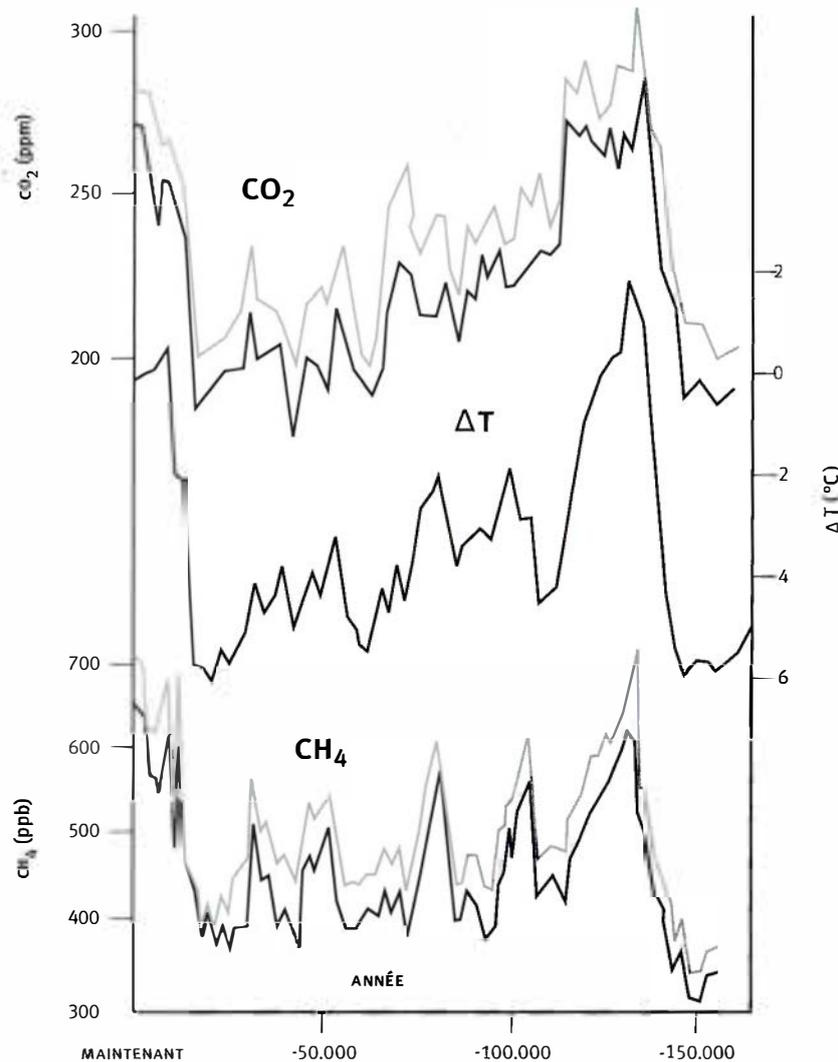
Si nous examinons l'évolution de la concentration de CO_2 à long terme, il est inquiétant de constater que la concentration actuelle est nettement plus élevée que pendant les 150.000 dernières années, et qu'elle augmente toujours à une vitesse inégalée (voir graphique p.55).

Nous observons également une poussée spectaculaire de la concentration de méthane (CH_4) dans l'atmosphère (voir même graphique): elle a plus que doublé sur cette même période. Les sources anthropogènes contribuent à raison de 70% au total des émissions de méthane, et les quantités libérées continuent à progresser de façon dramatique. De grandes quantités de ce gaz sont produites par les rizières asiatiques (où les agriculteurs sont souvent forcés de produire deux récoltes par an). Des quantités importantes sont également émises par l'élevage intensif, par l'intermédiaire des processus de digestion des animaux et de leurs excréments. (Actuellement, les éleveurs du monde entier possèdent 1,5 milliard de têtes de bétail...) L'industrie pétrolière, les activités minières, l'utilisation de gaz naturel, le brûlage des forêts sous les tropiques, ainsi que la décomposition anaérobie des déchets dans les décharges, dégagent également des quantités impressionnantes de méthane.

Comme il ressort du second graphique ci-contre, la concentration de méthane dans l'atmosphère a plus que doublé par

ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION DE CO_2 , DE CH_4 ET DE N_2O DANS L'ATMOSPHÈRE AU COURS DES DERNIERS SIÈCLES. ON REMARQUE CLAIEMENT UNE LENTE AUGMENTATION DEPUIS LE DÉBUT DE LA RÉVOLUTION INDUSTRIELLE (FIN DU XVIII^E SIÈCLE) ET UN ACCROISSEMENT SPECTACULAIRE DEPUIS LE DÉBUT DE CE SIÈCLE.





ÉVOLUTION PARALLÈLE DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA CONCENTRATION DE DIOXYDE DE CARBONE ET DE MÉTHANE DANS L'ATMOSPHÈRE, CES 150.000 DERNIÈRES ANNÉES. CES DONNÉES SONT TIRÉES DE L'ANALYSE D'UNE CAROTTE DE GLACE DE PLUS DE 2.000 MÈTRES DE LONG (VOSTOK, ANTARCTIQUE).

rapport à 1750 (augmentation de 145%), avec une croissance annuelle de près de 1%. La contribution relative du méthane à l'effet de serre renforcé s'élève à 20%, soit environ 1/3 de la part du CO₂!

En plus du dioxyde de carbone et du méthane, d'autres gaz contribuent largement à l'effet de serre renforcé: le N₂O (le fameux gaz hilarant), l'O₃ (ozone) et les CFC et HCFC (voir chapitre consacré au trou dans la couche d'ozone). Précisons que les sources anthropogènes de N₂O sont: l'agriculture intensive (usage de quantités exagérées d'engrais), l'industrie chimique, la consommation de combustibles fossiles, le brûlage de la biomasse (en forêt tropicale, par exemple). La quantité de N₂O émis par l'homme dans l'atmosphère est presque égale à la quantité produite par la nature. Quant à la concentration d'ozone troposphérique dans le monde, elle augmenterait chaque année de 1%. Etant donné néanmoins que l'ozone stratosphérique diminue, la contribution éventuelle de l'ozone est difficile à évaluer.



TRÈS INTENSIVE, LA CULTURE DU RIZ EN ASIE EST UNE DES PRINCIPALES SOURCES ANTHROPOGÈNES DE MÉTHANE. CE GAZ PROVIENT DE LA FERMENTATION ANAÉROBIE DE BIOMASSE DANS LES SOLS PAUVRES EN OXYGÈNE.

APERÇU DES PRINCIPAUX GAZ À EFFET DE SERRE

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC
Concentration 1750	280 ppm	700 ppb	275 ppb	0 ppt
Concentration 1998	360 ppm	1700 ppb	310 ppb	350 ppt
Augmentation 1750-1998	30%	145%	15%	---
PRG (100 ans)*	1	21	310	1300-7000
Contribution à l'effet de serre renforcé	±60%	±20%	±5%	±15%

* POTENTIEL DE RÉCHAUFFEMENT GLOBAL: TOUS LES GAZ À EFFET DE SERRE N'ABSORBENT PAS LES RAYONS INFRAROUGES AVEC LA MÊME EFFICACITÉ. AINSI (SUR UNE PÉRIODE DE 100 ANS), LE CH₄ EST 21 FOIS PLUS EFFICACE QUE LE CO₂. POUR LE N₂O, CE CHIFFRE PASSE À 310 FOIS, TANDIS QUE POUR LES CFC, IL PEUT ALLER JUSQU'À 7.000 FOIS!

Le tableau en-dessous fournit quelques indications à propos des différents gaz à effet de serre. Pour terminer, n'oublions pas que l'homme participe activement à la production d'aérosols (particules en suspension) atmosphériques. Du fait de leur durée de vie limitée, les aérosols ne sont pas répartis de façon homogène dans la troposphère, les concentrations maximales se situant à proximité des sources naturelles (déserts) et anthropogènes (industrielles). Il est clair qu'au cours de ces 200 dernières années, l'atmosphère a subi une importante transformation. Mais existe-t-il vraiment un lien de cause à effet avec les variations climatiques?

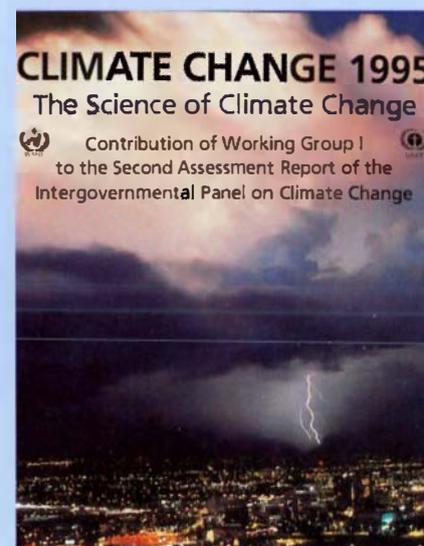
Causes et conséquences: le GIEC

Pour examiner les problèmes menaçants liés au climat général, les Nations Unies ont constitué en 1988 le «Groupe intergouvernemental d'experts pour l'étude du changement climatique» (GIEC; en anglais: IPCC ou Intergovernmental Panel on Climate Change). Ce groupe de scientifiques faisant autorité analyse de façon approfondie les informations scientifiques toujours plus nombreuses relatives aux causes et conséquences (tant écologiques qu'économiques ou sociales) d'un changement de climat. Tout un programme!

Le GIEC réunit plus de 2.000 experts provenant de 80 pays. Fin 1995, le GIEC a admis qu'il ne fait presque aucun doute que l'homme soit bien en train de faire grimper les concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone et le méthane. Cependant, ces experts sont moins affirmatifs en ce qui concerne la cause des changements climatiques. Selon eux, le relèvement de la température de 0,3 à 0,6°C constaté depuis la fin du siècle dernier «ne peut être entièrement d'origine naturelle».

La hausse générale de la température est-elle la conséquence de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre? Intuitivement, nous aurions tendance à répondre par l'affirmative: le réchauffement général concorde bien avec l'hypothèse des gaz à effet de serre. Mais les scientifiques ne raisonnent pas de la même manière. D'autres scénarios susceptibles d'entraîner un réchauffement similaire peuvent en effet être envisagés: modification de l'activité solaire, éruptions volcaniques, etc. Les chercheurs ont toutefois déjà souligné que l'activité changeante du Soleil n'est pas suffisante pour expliquer les variations de température observées. En outre, des calculs-types

démontrent que la variation verticale de la température (refroidissement dans la stratosphère et réchauffement dans la troposphère) n'est pas uniquement due à une activité solaire variable et/ou à des éruptions volcaniques. Toujours d'après ces calculs par ordinateur, il est impossible qu'un changement de l'activité solaire provoque un refroidissement de la stratosphère, alors que des observations prouvent que les éruptions volcaniques réchauffent la stratosphère et refroidissent la troposphère!



LE RAPPORT DU GIEC «THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE, 1995» TIRE QUELQUES CONCLUSIONS INTÉRESSANTES...

Tout changement résulte donc en une évolution spécifique de la température et a son « empreinte » propre. Les calculs indiquent qu'un relèvement de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère donne lieu à un modèle vertical de température présentant de grandes similitudes avec le changement observé actuellement. Ceci tendrait à prouver qu'il s'agit bien d'effets anthropogènes.

Le GIEC étudie également l'influence des aérosols. Il s'agit de minuscules particules en suspension dans l'air, qui ont tendance à refroidir la surface de la Terre et à compenser partiellement l'effet de serre. Un scénario-type basé sur l'équation « CO_2 + aérosols » présente, dans les grandes lignes, plus de concordances avec les variations de température observées dans le temps et l'espace, qu'un modèle ne tenant compte que du CO_2 . Pour le climat actuel, les scénarios « CO_2 uniquement » prédisent un réchauffement atmosphérique de l'ensemble des régions du monde, alors que les observations démontrent que s'il y a bien un réchauffement global, certaines régions font l'objet d'un refroidissement – conclusion à laquelle le modèle « CO_2 + aérosols » conduit également. Les zones dans lesquelles un refroidissement est simulé par ce modèle, correspondent plus ou moins aux grands pays industrialisés (Europe occidentale, Est de l'Amérique,...), où des quantités colossales d'aérosols sont émises par l'homme. Un scénario « naturel » explique difficilement ce type d'observations. Dès lors, ceci tendrait à prouver que les variations climatiques résultent, du moins en partie, des activités humaines.

AÉROSOLS ET CLIMAT

Les aérosols sont de fines particules solides ou liquides de composition très variée, en suspension dans l'air: poussière, suie, cristaux de sel marin, spores de plantes, virus, gouttelettes d'acide sulfurique, etc. Bien que bon nombre de ces substances aient une origine naturelle (tempêtes de poussière, éruptions volcaniques,...), elles sont présentes en grande quantité dans les régions fortement industrialisées (Europe occidentale, Amérique du Nord,...).

Ces aérosols agissent sur l'équilibre énergétique de la Terre de deux manières. D'une part, ils ont un effet direct: ils absorbent le rayonnement solaire incident, ou le réfléchissent vers l'espace.

D'autre part, ils influencent la nébulosité. Or, les nuages ont tendance à mieux réfléchir vers l'espace le rayonnement solaire, que les océans ou la Terre. Les aérosols modifient donc l'albédo de la Terre et de là, perturbent le climat. Ils sont donc susceptibles de compenser une partie du réchauffement dû aux gaz à effet de serre, même si ce n'est que pour la durée qu'ils passent dans l'air – une durée nettement inférieure à celle du séjour dans l'atmosphère des gaz à effet de serre.

De nombreuses publications scientifiques et les activités du GIEC permettent de mettre en évidence les faits suivants:

– La concentration atmosphérique des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane et gaz hilarant) est en nette progression, principalement en raison d'activités humaines comme la production d'énergie, le transport et l'agriculture. Les gaz à effet de serre retiennent le rayonnement solaire et réchauffent la Terre.

– Depuis la fin du XIX^e siècle, la température globale moyenne a augmenté de 0,3 à 0,6°C, et ces dernières années font partie des plus chaudes depuis les premières mesures effectuées en 1860. Le niveau moyen de la mer est monté de 10 à 25 cm au cours de notre siècle.

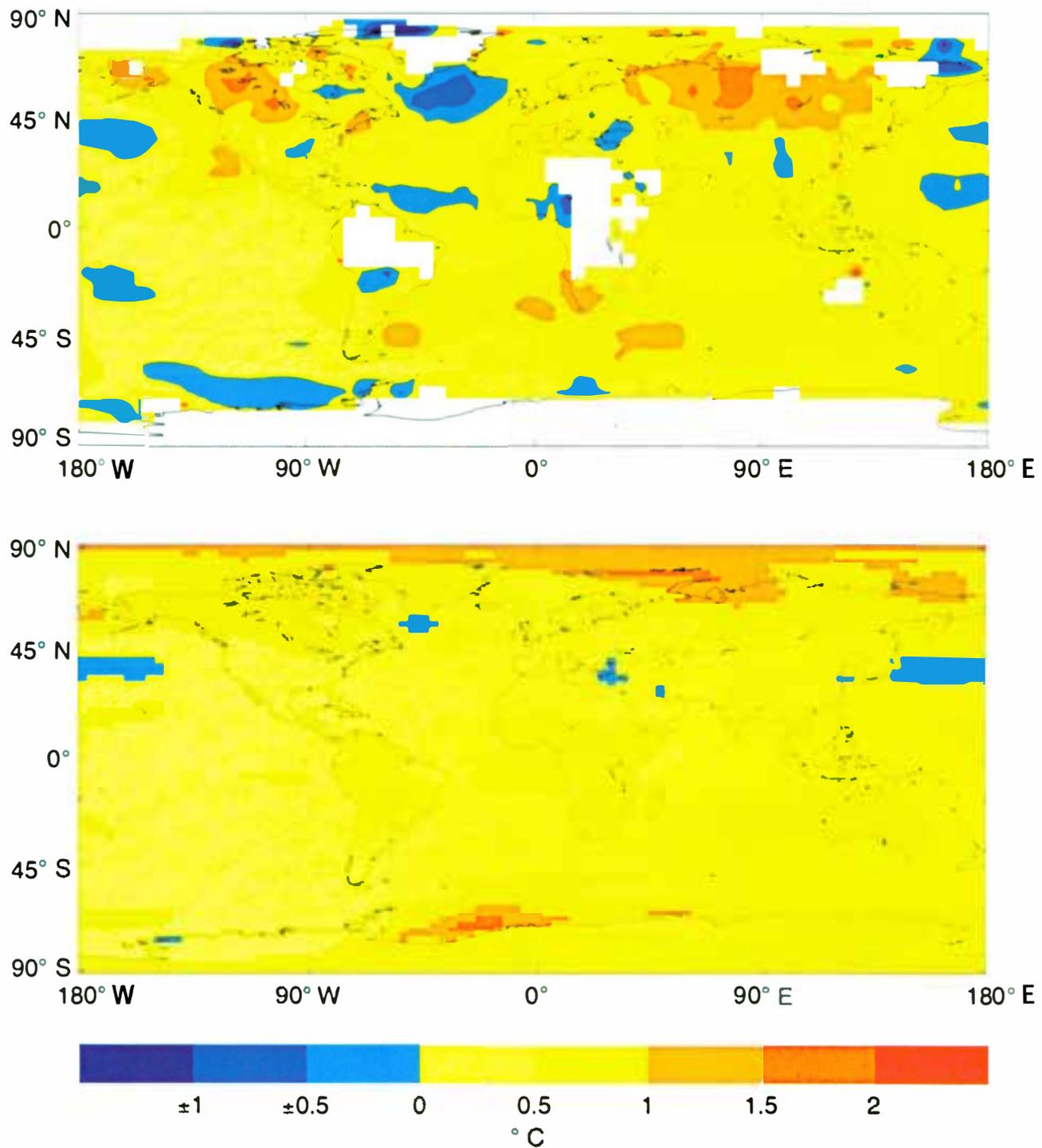
– Il est très peu probable que le réchauffement de 0,3-0,6°C observé soit entièrement d'origine naturelle. Certains éléments indiquent que l'homme influence le climat général.

– La température a moins augmenté que prévu, compte tenu de l'accroissement observé de la concentration de CO_2 . Il est probable que les aérosols refroidissent l'atmosphère.

– Théoriquement, si la concentration de CO_2 dans l'atmosphère doublait, une hausse de la température moyenne globale de 1 à 2°C devrait avoir lieu si tous les autres facteurs restaient inchangés. En réalité cependant, de nombreux facteurs seront modifiés en cas de hausse de la température, et provoqueront ainsi des mécanismes de rétroaction tant positifs que négatifs.

Que penser en définitive?

L'homme modifie le climat par-ci, par-là. D'accord, mais est-ce vraiment si grave que ça? S'il fait plus chaud maintenant (d'un tout petit demi-degré), c'est tout de même agréable, non? Si une hausse d'un demi-degré n'est pas très spectaculaire, cette évolution s'est déroulée sur 100 ans – soit en une seconde à l'échelle géologique! Nous pouvons donc parler d'une brusque poussée de fièvre de la planète. Le problème vient du fait que ce réchauf-



CHANGEMENT DE TEMPÉRATURE AU COURS DU XX^E SIÈCLE, SUIVANT OBSERVATIONS (HAUT) ET SUIVANT MODÈLE CLIMATIQUE (BAS). LE CHANGEMENT SUIVANT MODÈLE DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR AU NIVEAU DU SOL, DÙ À L'EFFET COMBINÉ DES ÉMISSIONS DE CO₂ ET D'OXYDE DE SOUFRE, CORRESPOND MIEUX AU CHANGEMENT DE TEMPÉRATURE OBSERVÉ, QUE LORSQUE SEUL LE CO₂ EST PRIS EN CONSIDÉRATION. PARMIS LES CONCORDANCES VISIBLES, NOUS POUVONS CONSTATER LE RÉCHAUFFEMENT SUPÉRIEUR SOUS LES LATITUDES PLUS HAUTES, AINSI QUE LE REFROIDISSEMENT DANS LE SUD-EST DE L'EUROPE ET DANS LE NORD-EST DES ÉTATS-UNIS (HADLEY CENTRE CLIMATE MODEL).

SUR LA MAUVAISE VOIE?

Quelques climatologues danois proposent une explication tout à fait différente par rapport à l'évolution de la température ces 150 dernières années. Ils prétendent qu'il ne s'agit que de variations naturelles de l'activité solaire, et qu'il n'est donc nullement question d'une quelconque intervention humaine.

Ces changements entraîneraient en effet une modification du rayonnement cosmique atteignant la Terre. Cette quantité variable de rayons influencerait à son tour la masse nuageuse couvrant la Terre. S'il y a moins de nuages, la surface de la Terre se réchauffe; s'il y en a plus, elle se refroidit. Cette théorie est étayée par des graphiques qui établissent un lien surprenant (bien que sur une période relativement courte) entre l'activité solaire et la température d'une part, et entre la nébulosité et le rayonnement cosmique d'autre part. Reste à savoir si cette théorie très controversée est la bonne... Les «partisans» de l'effet de serre l'entourent de pas mal de points d'interrogation, tandis que d'autres scientifiques la trouvent intéressante et même excitante.

fement pourrait être beaucoup trop rapide pour que l'homme parvienne à s'adapter à ses effets néfastes (voir plus loin). Par ailleurs, il y a de grands risques que l'effet de serre renforcé désorganise le climat au point de provoquer des mécanismes de rétroaction qui le modifieraient totalement. Celui-ci deviendrait alors provisoirement imprévisible et serait fort probablement moins favorable pour l'homme. L'effet de serre renforcé pourrait donc nous réserver des surprises désagréables, difficiles à évaluer à l'avance. Une perturbation du système climatique a en effet des répercussions non linéaires.

Ce qui veut dire qu'un faible changement au départ ne donne pas automatiquement une légère modification à l'arrivée. Au contraire, l'impact est inattendu, très abrupt et intense! Un détail est modifié, et il ne se passe rien. Le système subit un autre changement mineur, et nous ne constatons toujours rien... jusqu'au moment où l'ensemble du système est soudain bouleversé en profondeur, alors que le changement n'était pas plus important que les autres fois. Ainsi, un mini-supplément de gaz à effet de serre dans l'atmosphère parvient à perturber radicalement le système climatique avec ses processus compliqués de rétroaction. C'est un peu comme la circulation sur l'autoroute. Vous roulez sans problème vers votre destination quand, tout à coup, pour une raison indéterminée, vous devez ralentir... pour finalement vous retrouver dans un embouteillage monstre. Une raison ridicule (un petit ralentissement dû à un surplus minime de voitures) bouleverse brusquement (embouteillage) la situation prévue (route sans encombre).

De même, une multiplication soudaine des gaz à effet de serre, comme celle que nous vivons actuellement, dérange considérablement le modèle prévu, en ébranlant le système climatique en profondeur avec toutes les conséquences que cela implique. Einstein a dit un jour: «Dieu ne joue pas au poker avec l'univers.» Il entendait par là que l'univers est un tout bien orchestré où rien n'est laissé au hasard. Pourtant, l'homme est peut-être en train de jouer au poker avec son environnement naturel. Le climatologue américain J.W.C. White affirmait de son côté: «S'il y avait un mode d'emploi pour la Terre, le chapitre concernant la climatisa-

tion commencerait sans aucun doute par un avertissement prévenant que le système est réglé sur le confort maximal et qu'il ne faut absolument pas toucher aux boutons!» Nous avons peut-être chipoté au réglage... et c'est bien ce qui inquiète les climatologues. En fait, nous nous trouvons aujourd'hui dans une situation par rapport à laquelle nous n'avons absolument aucune expérience. Selon les scientifiques, il devient de plus en plus évident qu'un changement va avoir lieu. Mais c'est tout ce qu'il peuvent dire pour le moment.

DU CO₂ AU FOND DE LA MER!

Des experts du British Geological Survey ont calculé qu'il était théoriquement possible de se débarrasser du CO₂, en l'introduisant dans les formations de grès poreuses de la mer du Nord, à une profondeur de 1.000 m. Au lieu de rejeter ce CO₂ dans l'atmosphère, les centrales électriques le liquéfieraient et l'enverraient au fond de la mer par l'intermédiaire de pipelines. Ce polluant pourrait y rester un million d'années et même plus. Le système permettrait de réduire d'un tiers les émissions de CO₂ en Europe. Savoir s'il est techniquement et financièrement réalisable, est une autre paire de manches...

Mieux vaut prévenir que guérir

En théorie, l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère devrait provoquer une hausse de la température, susceptible d'entraîner à son tour un changement important du climat. Si l'homme attend une preuve irréfutable de son influence sur le climat, avant de prendre des mesures pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre, il sera trop tard pour agir! Le mal sera fait, irrémédiablement.

C'est donc maintenant que nous devons prendre des mesures préventives pour éviter un changement de climat qui pourrait nous être néfaste. Il est grand temps d'utiliser l'énergie de manière plus rationnelle, et d'utiliser des énergies renouvelables (vent, Soleil, houle,...) Vous trouverez plus de détails à ce sujet dans le chapitre consacrée au développement durable.

MODÈLES CLIMATIQUES

Un modèle climatique avancé n'est en fait rien de plus (mais rien de moins non plus) qu'un rassemblement de dizaines de milliers d'équations mathématiques et chimiques, décrivant le climat général (et sa complexité extrême). Ces équations sont basées sur des lois physiques, comme celle des gaz parfaits ou celle de la conservation de l'énergie et de la masse. Elles déterminent l'évolution dans le temps de différents paramètres (température, direction du vent, hygrométrie, pression atmosphérique,...). Les modèles climatiques les plus sophistiqués sont les «General Circulation Models» en trois dimensions (en abrégé, 3D-GCM). Le préfixe 3D se réfère au fait que le climat est décrit en fonction de la longitude, de la latitude (en général, par étapes de quelques degrés) et de l'altitude. La Terre est ainsi divisée en quelques milliers de points, appelés points de la grille. Ce nombre

L'avenir

La question de savoir en quoi consistera l'évolution de notre climat dans les 100 à 150 années à venir, sous l'influence potentielle d'un effet de serre renforcé, est une des plus angoissantes de cette décennie. Une éventuelle reproduction de notre système climatique dans une espèce de superlaboratoire s'avère impossible, car ce système est trop complexe et encore très peu connu. Les scientifiques n'ont donc pas le choix. Ils sont obligés de concevoir des modèles pour prévoir l'avenir.

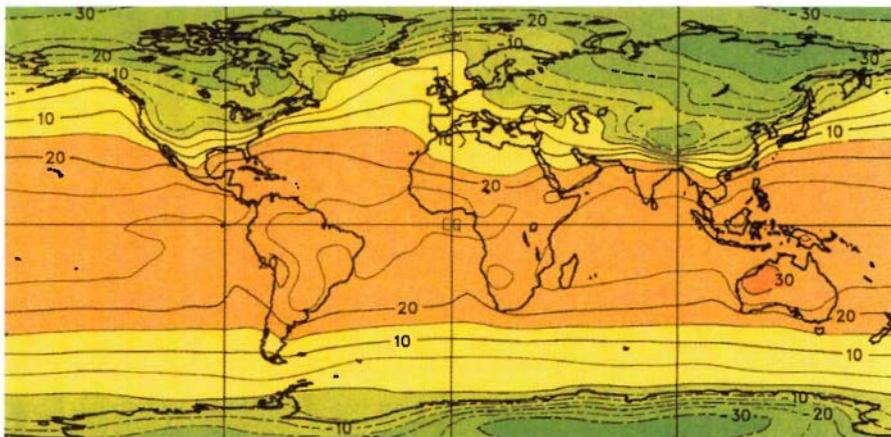
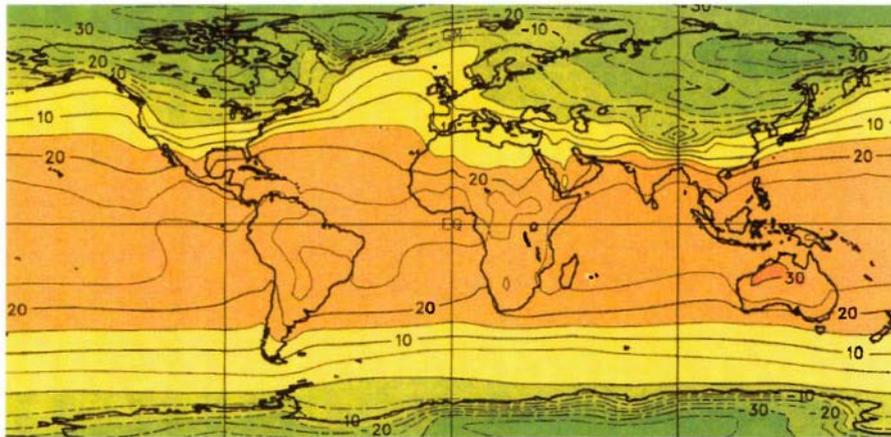
Même si la plupart des modèles climatiques sont très sophistiqués, ils sont loin d'être parfaits. Notre connaissance du climat et des nombreux mécanismes de rétroaction, présente de nombreuses lacunes et incertitudes. En outre, plus le futur est lointain, moins les prévisions sont sûres. La moindre erreur de calcul est

semble famineux, et pourtant tout le Bénélux n'est représenté que par un seul point! Avant que les modèles ne soient chargés de prédire l'avenir, ils sont scrupuleusement testés. Un des tests consiste à leur faire reproduire les principaux aspects du climat actuel, ou les variations climatiques connues du passé. Les modèles les plus efficaces y parviennent, tant au niveau des différences de température saisonnières et géographiques, qu'à celui des variations de température en fonction de l'altitude. La figure 61 permet de constater que les modèles conjugués océans-atmosphère, du type utilisé pour prédire le climat futur, simulent très bien les caractéristiques à grande échelle du climat actuel. A l'échelle régionale, pas mal de d'écarts subsistent néanmoins. Afin de calculer l'évolution future du climat, pour chaque point de la grille, les données climatiques actuelles sont introduites dans un ordinateur. Quand le modèle a

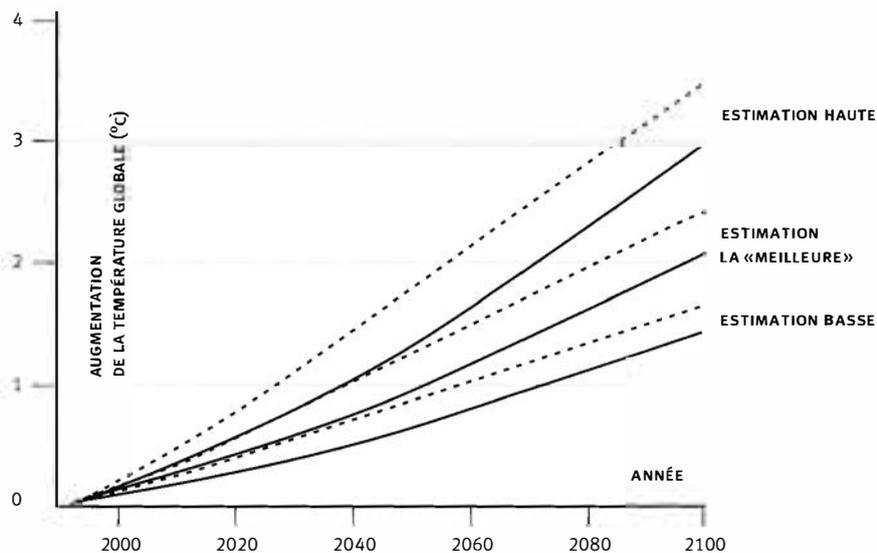
en effet prise en considération et renforcée lors de l'étape de calcul suivante. Par conséquent, il est impossible que les modèles climatiques donnent des prévisions exactes ou des évaluations précises pour chaque région du monde. Il s'agit plutôt de tendances ou de scénarios climatiques éventuels, applicables à de vastes régions comme l'Amérique du Nord, l'Asie, l'Australie ou encore l'Europe occidentale ou méridionale. Des prévisions climatiques détaillées pour la Belgique ou la Wallonie, par exemple, seraient donc dépourvues de sens et peu réalistes.

Enfin, pour pouvoir prédire l'avenir, il faut déjà le connaître un peu! Par exemple, il est important de savoir comment l'économie mondiale évoluera (production d'énergie, notamment) au cours des prochaines décennies, pour avoir une idée de l'évolution probable de

permis de calculer quel sera l'état de l'atmosphère une demi-heure plus tard (par exemple), les résultats obtenus sont utilisés pour calculer la situation une demi-heure après. Et ainsi de suite... (L'ordinateur le plus puissant et le plus rapide du monde aurait tout de même besoin de plusieurs mois pour prédire ce qui se passera dans 100 ans!) Mais la question n'est pas résolue pour autant. Nous savons en effet que le système climatique ne se limite pas à l'atmosphère. Pour le simuler le mieux possible, les modèles en 3D de l'atmosphère sont couplés à des modèles en 3D des océans, afin de prendre en considération l'interaction des deux éléments. Dans le but d'effectuer des prévisions plus ou moins réalistes, les modèles climatiques les plus sophistiqués tiennent également compte des continents, des glaces terrestres et flottantes, et de la végétation.



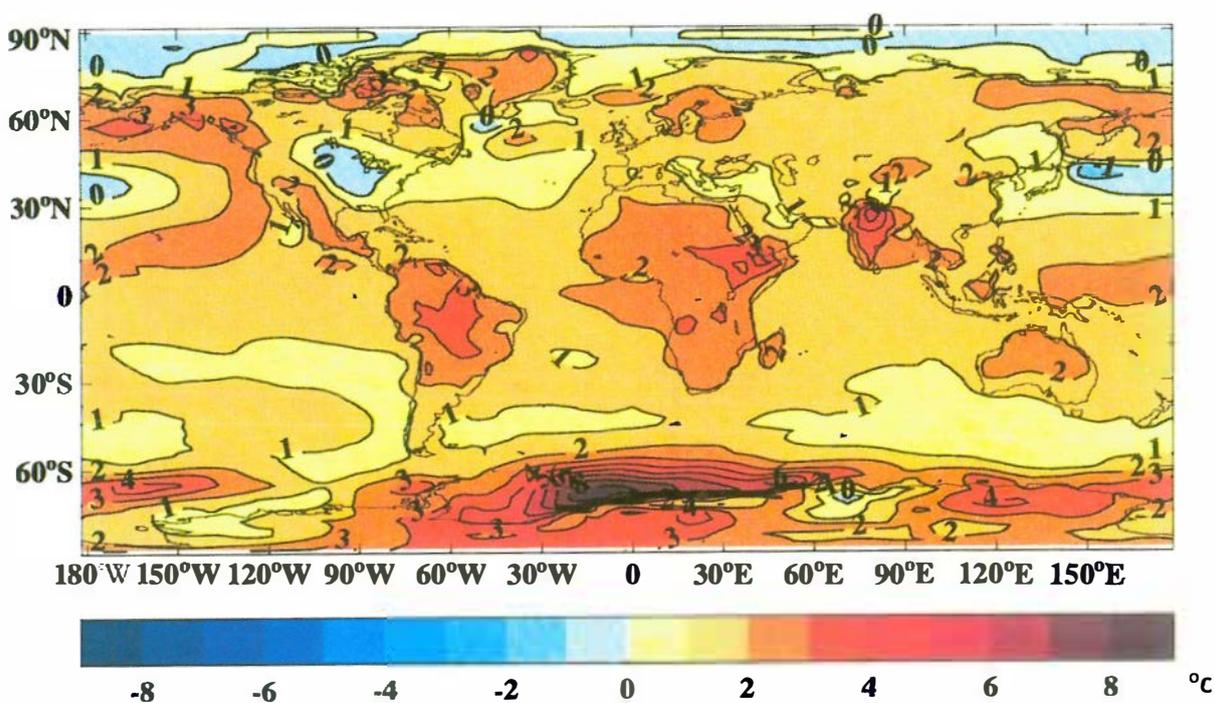
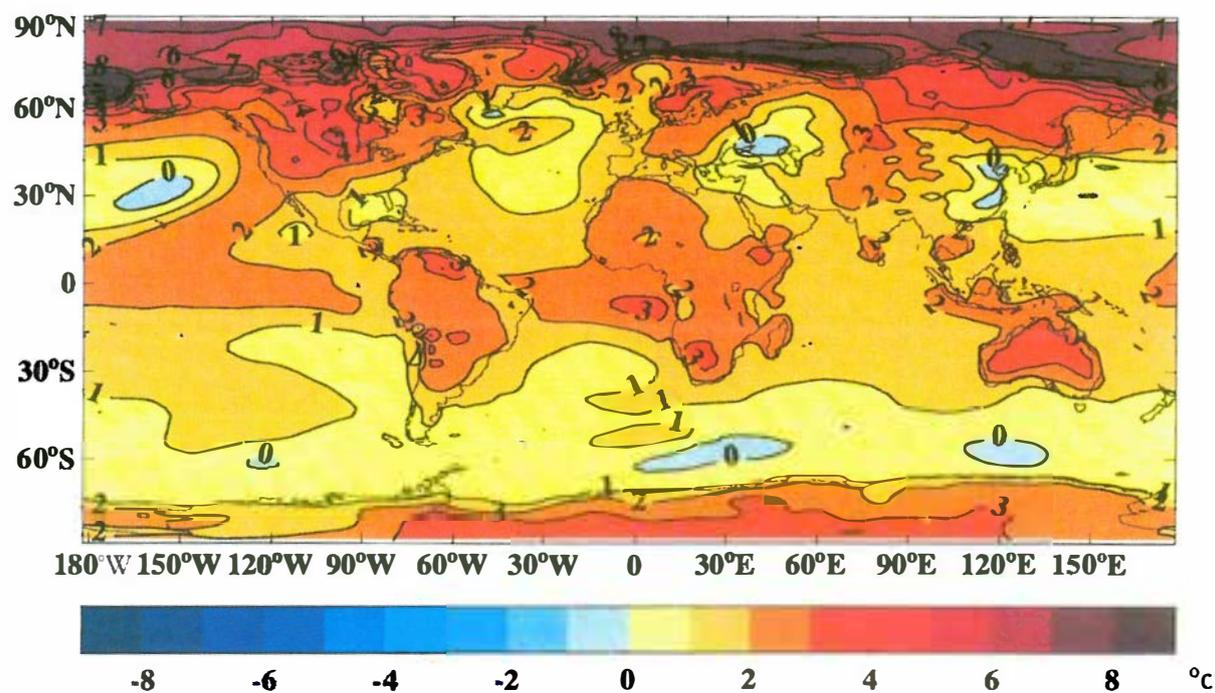
RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DE LA TEMPÉRATURE À LA SURFACE DE LA TERRE PENDANT L'HIVER SUIVANT OBSERVATIONS (HAUT) ET SUIVANT MODÈLE (BAS). LES MODÈLES CONJUGUÉS SONT ÉGALEMENT UTILISÉS POUR SIMULER LE CLIMAT FUTUR (BAS).

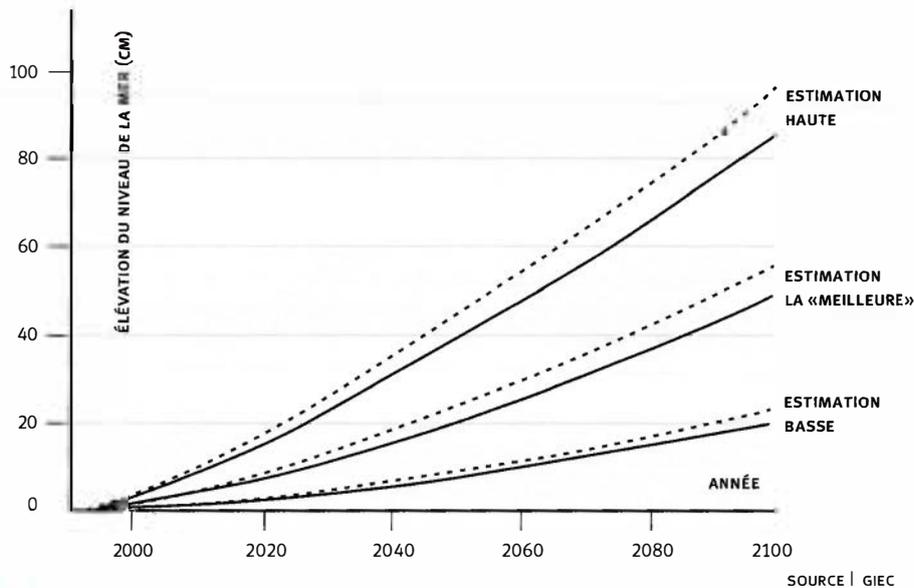


la concentration dans l'atmosphère des gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 ,...) Mais à ce niveau aussi, le GIEC a fourni un travail intéressant. Sur base d'estimations de la croissance économique et démographique future, et de la demande d'énergie potentielle, six scénarios ont été élaborés. Le plus utilisé part de l'hypothèse que l'homme ne prend provisoirement aucune mesure pour éviter un éventuel changement de climat. Ce scénario s'intitule «Business as Usual» – ce qui signifie continuer à vivre comme on l'a toujours fait. Ce scénario prédit que la concentration de CO_2 aura quasi doublé au milieu du siècle prochain, par rapport à sa valeur pré-industrielle (550 ppm au lieu de 280), et qu'elle atteindra environ 700 ppm en 2100. Cette évolution entraînera, pour la fin du XXI^e siècle, une hausse de la température générale de 1 à 3,5°C, la «meilleure» évaluation étant de 2,5°C. La vitesse à laquelle cette hausse de température se produira, sera vraisemblablement supérieure à celle de tout autre réchauffement observé ces 10.000 dernières années! (La température au niveau régional pourra s'écarter sensiblement des moyennes globales). A cause de ce réchauffement général de la planète, le niveau de la mer montera d'environ 50 cm, avec une marge d'incertitude de 20-96 cm. Cette marge est principalement due à un manque de connaissances relatives au système climatique général, aux limitations des modèles climatiques, et au caractère imprécis de l'émission future des gaz à effet de serre.

ÉVOLUTION ESTIMÉE DU RÉCHAUFFEMENT MOYEN DE L'ATMOSPHÈRE ENTRE 1900 ET 2100, SUIVANT LE SCÉNARIO «BUSINESS AS USUAL».

SOURCE | GIEC





ESTIMATION DE L'ÉLEVATION GLOBALE DU NIVEAU DE LA MER ENTRE 1900 ET 2100, SUIVANT LE SCÉNARIO «BUSINESS AS USUAL». SELON L'ESTIMATION LA MOINS PESSIMISTE, LE NIVEAU DE LA MER DEVRAIT MONTER DE 50 CM POUR 2100.

CO₂ À LA BAISSE!

Afin de lutter contre l'effet de serre renforcé, il faut que la quantité de CO₂ dans l'atmosphère diminue. La solution logique consiste à limiter l'émission de CO₂ anthropogène. Si la quantité émise est moindre, la concentration suivra. Néanmoins, comme le CO₂ reste en moyenne 100 ans dans l'atmosphère, une modification de ses rejets n'influencera pas immédiatement sa concentration atmosphérique. Si nous parvenions aujourd'hui à stabiliser l'émission de CO₂ dans le monde – ce qui ne serait déjà pas une mince affaire –, la vitesse des variations climatiques ne ferait que ralentir. Mais si nous voulons que la concentration de CO₂ dans l'atmosphère cesse de s'intensifier, il faut que les rejets actuels de CO₂ baissent de 60 à 80%!

VARIATION DE TEMPÉRATURE SIMULÉE POUR LES MOIS D'HIVER (BOVEN) ET D'ÉTÉ (ONDER), POUR LA PÉRIODE 2030-2050. LA HAUSSE DE TEMPÉRATURE EST DUE À UNE AUGMENTATION DE LA CONCENTRATION ATMOSPHÉRIQUE DES GAZ À EFFET DE SERRE ET DES SULFATES. PENDANT L'HIVER, LE MAXIMUM DU RÉCHAUFFEMENT EST ATTEINT AU-DESSUS DE L'HÉMISPHERE NORD, TANDIS QU'AU-DESSUS DE L'HÉMISPHERE SUD, IL EST SURTOUT OBSERVÉ EN ÉTÉ (HADLEY CENTRE FOR CLIMATE PREDICTION AND RESEARCH).

Impacts d'un changement de climat

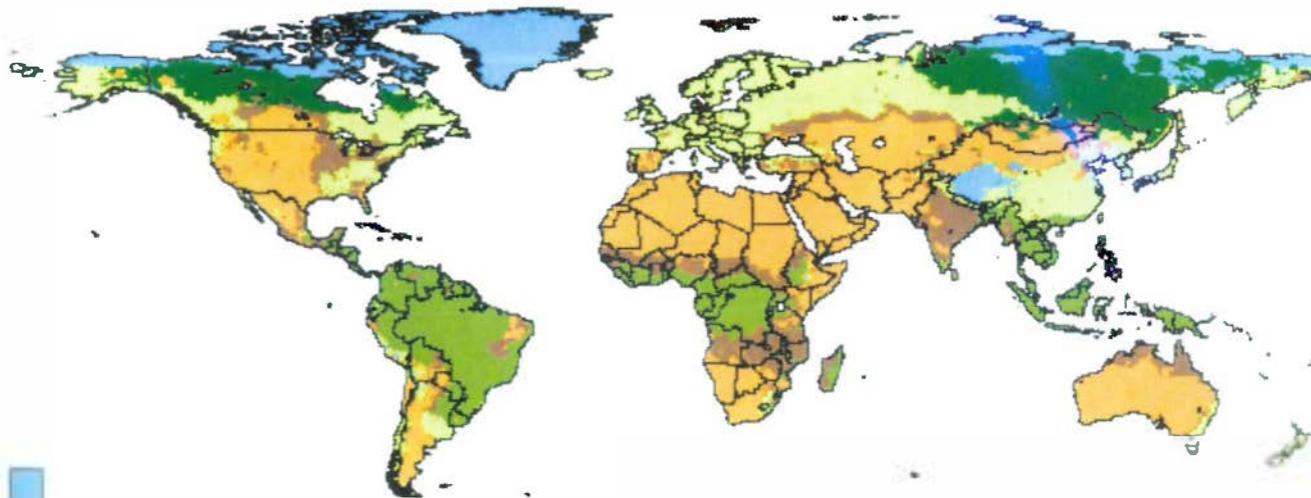
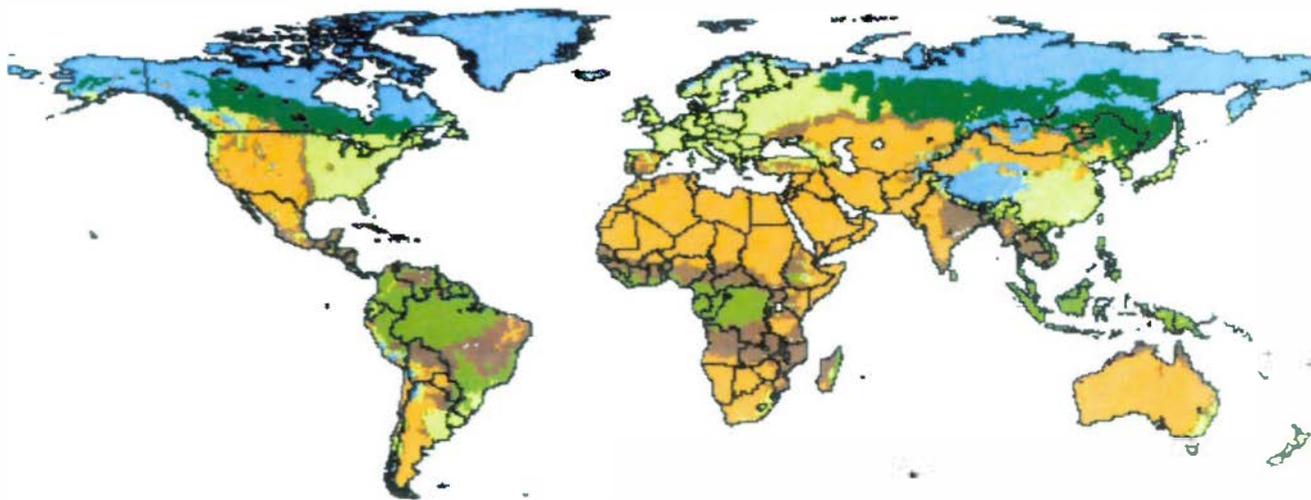
Une augmentation globale de 2,5°C et un relèvement du niveau de la mer d'environ 50 cm: en soi, ces mots ne disent pas grand-chose. Que cette modification du climat aura un impact sur l'écosystème terrestre, plus personne n'en doute. Mais quant à savoir quelles en seront exactement les répercussions concrètes, nul n'ose s'aventurer sur ce terrain. L'agriculture, par exemple, en souffrira-t-elle? Les écosystèmes naturels parviendront-ils à s'adapter aux nouvelles températures? Faut-il s'attendre à des conditions atmosphériques plus extrêmes? Et quelles seront les conséquences d'un rehaussement du niveau général des mers? Bien que le climat – et donc son impact – au niveau régional soit très difficile à prédire, il est possible d'énumérer quelques généralités au sujet des effets possibles.

Les écosystèmes terrestres

La plupart des modèles prévoient des changements radicaux du climat régional (température et précipitations), dans le monde entier. Cette évolution portera

atteinte à la croissance et au rétablissement de la végétation locale en de nombreux endroits. On estime qu'environ 1/3 des forêts du monde subiront de grands bouleversements, et que les plus fragiles d'entre elles disparaîtront. Par ailleurs, à cause de la hausse de la température globale de 1 à 3,5°C, au cours des 100 prochaines années, les zones climatiques se déplaceront de quelques centaines de kilomètres (150 – 550 km) vers le nord, et de quelques centaines de mètres (150 – 550 m) en altitude. Cette évolution sera probablement beaucoup plus rapide que la vitesse à laquelle les arbres se reproduisent et colonisent de nouvelles terres. Une multitude d'espèces végétales et animales n'arriveront pas à s'adapter aux nouvelles conditions climatiques et météorologiques, et disparaîtront à jamais. De nouvelles espèces et de nouveaux écosystèmes les remplaceront cependant. Notre planète a déjà connu, par le passé, des variations climatiques provoquant le déclin d'écosystèmes et la disparition de nombreuses espèces vivantes.

L'augmentation de la concentration atmosphérique de CO₂ devrait théoriquement induire une augmentation de l'activité photosynthétique des plantes – et donc un développement plus important de la végétation. Néanmoins, cela a peu de chances de se produire, compte tenu des feux de forêts, des attaques d'insectes, etc.



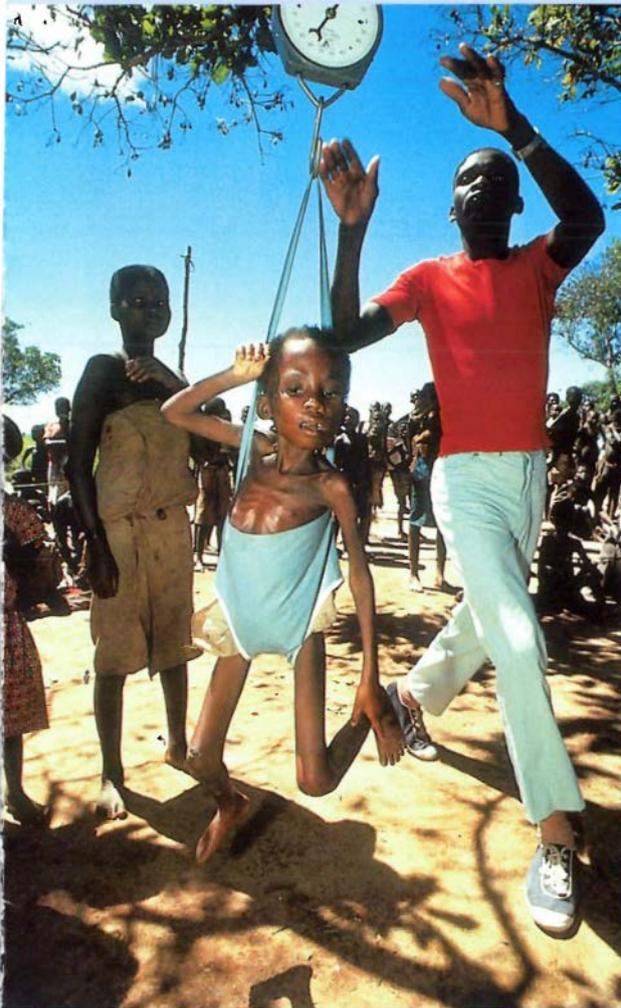
RÉPARTITION POTENTIELLE DE LA VÉGÉTATION NATURELLE DANS LES CONDITIONS CLIMATIQUES ACTUELLES (HAUT) ET RÉPARTITION ESTIMÉE AU MOYEN D'UNE SIMULATION AVEC CONCENTRATION DOUBLÉE DU CO₂ ATMOSPHÉRIQUE (EFFETS PHYSIOLOGIQUES DU CO₂ SUR LA VÉGÉTATION COMPRIS) (BAS). NOTEZ ENTRE AUTRES LA DISPARITION SUBSTANTIELLE DES ZONES DE TOUNDRA ET DE TAÏGA DANS LE MONDE ENTIER, ET LE DÉPLACEMENT VERS LE NORD DES FORÊTS BORÉALES.

L'agriculture

Les variations climatiques (changements des précipitations et de la température, déplacement des zones climatiques vers le nord,...) permettront vraisemblablement un maintien de la production agricole globale au niveau actuel. Toutefois, la disponibilité régionale de nourriture pourrait devenir problématique, entraînant des risques accrus de famine – une question particulièrement cruciale dans les régions pauvres qui souffrent déjà gravement de conditions climatiques extrêmes, comme

le Sahel aride, l'Afrique du Nord, ou les régions tropicales d'Amérique latine. Le climat y deviendra encore plus impitoyable, avec toutes les conséquences que cela implique pour les récoltes déjà maigres.

Sous des latitudes plus élevées (dans nos contrées), un allongement de la période de croissance des végétaux augmentera leur productivité. Cependant, sous l'influence du climat variable, des modifications défavorables de la qualité et de la



LA NOURRITURE DISPONIBLE PEUT DEVENIR PROBLÉMATIQUE DANS CERTAINES RÉGIONS.

fertilité du sol, pourraient bien dégrader la situation. Au niveau de la production agricole, les avantages découlant de l'amendement par le CO₂ atmosphérique (une intensification de la photosynthèse) seront sans doute annulés par la plus grande variabilité du climat, ainsi que par les modifications des précipitations et de la qualité du sol. Par ailleurs, il faut également tenir compte de l'évolution de fléaux tels que les maladies des plantes ou les insectes parasites. Pour terminer, l'élevage aussi en pâtira: les animaux souffri-

ront de la chaleur et d'une baisse de la productivité des pâtures. Même si l'homme parvient à s'adapter, la facture à payer pour préserver la production agricole sera exorbitante, face à la pression démographique sans cesse plus forte. De nombreux pays en voie de développement ne réussiront pas à supporter cette pression financière supplémentaire.

Les océans et les côtes

Depuis la fin du siècle dernier, le niveau moyen de la mer s'est accru de 10 à 25 cm. S'il faut en croire les modèles, selon le scénario «Business as Usual», il aura encore atteint un demi-mètre de plus vers la fin du siècle suivant. Ce phénomène résulte principalement de la dilatation thermique des océans et, dans une moindre mesure, de la fonte des glaciers et des calottes glaciaires. De ce fait, les risques de graves inondations côtières se multiplieront et mettront en danger de nombreuses îles et régions côtières lointaines (Bangladesh, Egypte, Nigeria, Chine,...) Des dizaines de millions d'habi-

tants devront être évacués. Les côtes, ainsi que les récifs de coraux, les atolls et le delta des fleuves seront exposés à une extension de l'érosion. L'eau de mer salée risquera de se mélanger aux sources d'eau douce du sol. Cette évolution menacera dès lors l'approvisionnement en eau potable.

Des modifications de la circulation océanique et du mélange vertical de l'eau pourront aussi avoir lieu, modifiant ainsi la productivité biologique primaire des océans (le développement du phytoplancton). Par ailleurs, le rôle des océans comme principaux engloutisseurs de CO₂ sera perturbé (une plus grande quantité de CO₂ restera donc dans l'atmosphère et renforcera encore l'effet de serre). D'importants mécanismes de rétroaction se déclencheront. Etant donné que les glaces flottantes et les calottes glaciaires ne contiennent pratiquement que de l'eau douce, leur fonte risque de modifier l'ensemble de la circulation océanique thermohaline, d'où des conséquences imprévisibles pour le climat général et les modèles régionaux. Un éventuel affaibli-



DES ÎLES ET DES RÉGIONS LITTORALES BASSES RISQUENT DES INONDATIONS DÉSASTREUSES.

sement ou déplacement du Gulf Stream risque de son côté de s'accompagner d'une chute radicale de la température en Europe occidentale. Ceci pourrait en outre avoir des conséquences néfastes pour l'écologie marine, la biodiversité et la pêche.

La santé publique

Les effets du réchauffement du climat sur la santé de l'homme seront innombrables et souvent néfastes. Parmi les effets directs, on enregistrera une augmentation de la morbidité et de la mortalité, due à l'augmentation de l'intensité et de la durée des conditions atmosphériques extrêmes (vagues de chaleur, sécheresse, tempêtes, ouragans, inondations,...). Dans les méga-

lopoles, la chaleur provoquera chaque année quelques milliers de décès supplémentaires. L'exposition de la population à de l'eau contaminée à la suite d'inondations sera lourde de conséquences (salmonellose, choléra, diarrhée). Indirectement, le nombre de maladies infectieuses (malaria, fièvres jaune et rouge, méningite virale,...) progressera du fait de l'extension de la répartition géographique des organismes pathogènes, par exemple vers des latitudes plus élevées. Certains scénarios prévoient que 60% de la population mondiale vivra dans des zones de transmission de la malaria, contre 45% actuellement. Cette progression pourrait entraîner chaque année 50 à 80 millions de cas de malaria supplé-

mentaires, par rapport aux 400 millions de cas actuels (dont 2 millions sont fatals). Cette maladie frappe surtout les régions tropicales et subtropicales, ainsi que les régions tempérées moins protégées. Enfin, le nombre d'affections respiratoires et allergiques risque d'augmenter, en raison d'une augmentation de la pollution de l'air (ozone) et de la quantité de pollen en suspension, provoquée par le climat. Combinées à des chaleurs ou à des précipitations excessives, ces conditions pourront donner lieu à une élévation du nombre de décès et de maladies.

L'ABSORPTION D'EAU CONTAMINÉE À LA SUITE D'INONDATIONS PEUT PROVOQUER DIVERSES MALADIES INFECTIEUSES GRAVES, COMME LE CHOLÉRA.



L'infrastructure humaine et les migrations

De brusques changements de temps, et une augmentation de l'intensité et de la fréquence des situations extrêmes (inondations, mouvements de terrain, cyclones et ouragans tropicaux, feux de forêts,...), auront un impact négatif sur l'infrastructure (énergie, industries et transports) et sur l'établissement des populations. Aujourd'hui, environ 50 millions de personnes sont exposées à des risques d'inondations provoquées par des tempêtes. Un rehaussement de 50 cm du niveau de la mer portera ce nombre à près de 100 millions. Ce chiffre sera encore plus élevé si l'on tient compte de la croissance démographique. Une hausse du niveau de la mer et un réchauffement du climat pourraient, selon les experts, augmenter l'intensité mais aussi la fréquence des tornades, des tempêtes et des inondations. L'impact global du phénomène est difficile à évaluer.

Les établissements humains les plus sensibles sont localisés dans des zones fragiles, comme les pays en voie de développement, les régions côtières basses, les îles ou les déserts arides. Ces territoires subissent déjà de lourdes pressions sociales, économiques et climatologiques, et n'ont pas toujours les moyens de lutter contre les répercussions de sécheresses extrêmes, de graves inondations, de mouvements catastrophiques de terrain, ou de cyclones. Dans ces régions, d'importants mouvements de migration éloigneront la population des zones d'inondations, des pentes abruptes et des basses régions côtières. Ces migrations de réfugiés «écologiques» risquent de revêtir une dimension internationale sans précédent. Les conséquences sociales pour les intéressés et



UN RÉCHAUFFEMENT DU CLIMAT POURRAIT AUGMENTER L'INTENSITÉ ET LA FRÉQUENCE DES CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES EXTRÊMES.

leurs points de chute sont littéralement imprévisibles.

Dans les pays industrialisés, un grand nombre de métropoles économiques sont situées dans des régions risquant d'être inondées en cas de hausse du niveau de la mer. En outre, l'infrastructure industrielle

et portuaire pourrait subir des dégâts énormes. Finalement, c'est vers une dislocation de l'économie mondiale que nous courons.

L'alimentation en eau

Des variations climatiques relativement insignifiantes peuvent avoir des conséquences désastreuses pour l'approvisionnement en eau, surtout dans les régions très arides et incultes. L'eau est en effet essentielle pour l'homme. Toute modification de la quantité disponible exerce une influence sur ses activités agricoles, l'irrigation, l'énergie hydraulique, l'industrie, etc. Les problèmes posés par la qualité et le volume de l'eau disponible sont surtout régionaux. Une diminution de la quantité d'eau se révèle dramatique dans des pays comme le Rwanda, la Somalie ou l'Algérie, qui se situent déjà sous la limite de la pénurie. Actuellement, certaines régions comme la Syrie, l'Irak ou l'Égypte, dépendent des importations pour leur approvisionnement en eau. De ce fait, une aggravation de cette pénurie pourrait susciter des conflits politiques, sociaux et économiques. Une modification du niveau des précipitations est susceptible de stabiliser ou d'aggraver la situation. Dans l'ensemble, on prévoit une augmentation des précipitations sous les latitudes plus élevées (NO de l'Europe) et (dès lors) des inondations, tandis que sous les basses latitudes, une diminution des précipitations et (donc) une amplification de la sécheresse sont attendues. Par ailleurs, la température dans les contrées désertiques va encore monter. Dans le Sahel, une extension de la désertification et une chute de la productivité agricole sont vraisemblables, les pratiques d'irrigation devenant quasiment impossibles.

Effets des variations climatiques en Europe

Malgré les incertitudes accompagnant les prévisions climatiques régionales, celles-ci se révèlent utiles pour évaluer la sensibilité et la vulnérabilité d'une région en cas de variations climatiques. Un rapport tout

récent (1998) du GIEC décrit l'impact d'un changement de climat pour une dizaine de régions, dont l'Europe.

En règle générale, on s'attend à une hausse de la température, principalement dans les régions septentrionales. Pour ce qui est des précipitations, elles augmenteront dans le nord de l'Europe, et diminueront dans le sud et d'ouest en est. En hiver, les précipitations seront plus abondantes, tandis qu'en été, elles le seront moins. Les forêts méditerranéennes et boréales pourraient se déplacer à la suite de cette modification de la pluviosité. Les forêts septentrionales de Scandinavie et du nord de la Russie s'étendraient en direction des zones de toundra dont la superficie, tout comme celle du permafrost, rétréciraient par conséquent. Dans le sud de l'Europe, c'est surtout la sécheresse qui menacerait les écosystèmes. L'approvisionnement en eau serait perturbé dans le nord à cause de la multiplication des inondations, et dans le sud, en raison du nombre accru de périodes de sécheresse. Vers 2100, plus de 95% des glaciers alpins auront peut-être disparu, avec tout ce que cela implique comme effets néfastes pour l'alimentation en eau des zones situées plus bas (centrales hydrauliques, par ex.) Un climat plus chaud permettra de développer la production agricole dans de grandes parties de l'Europe, sauf au sud où le manque de pluie nécessitera un renforcement de l'irrigation, qui rendra encore plus précaire la disponibilité de l'eau pour des usages ménagers et industriels. Les côtes néerlandaise, allemande, ukrainienne et russe, certains deltas méditerranéens (ceux du Rhône et du Pô), ainsi que le littoral balte seront des zones à risques, si le relèvement du niveau de la mer se poursuit et si l'intensité et la fréquence des grandes marées s'intensifient. Les zones côtières basses bordant la mer du Nord sont également

très sensibles à ces problèmes. Il faudra adapter les infrastructures au réchauffement général, ainsi qu'aux éventuelles vagues de chaleur. Les régions où les précipitations augmenteront seront confrontées à des risques de mouvements de terrain et d'inondations. La combinaison de températures supérieures et d'une détérioration de la qualité de l'air iront de pair avec une augmentation de la mortalité. Par contre, le nombre de décès dus au froid chutera. La progression des maladies infectieuses constituera une menace pour la santé publique.

Des mesures à prendre:

le Protocole de Kyoto

En réponse aux prévisions du GIEC (un changement de climat sans pareil, ayant des répercussions écologiques et sociales catastrophiques dans le monde entier), la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques a été approuvée au cours du deuxième Sommet mondial sur l'Environnement à Rio de Janeiro, en 1992. Depuis lors, cette convention a été signée par 162 pays. Composé de 26 articles, ce document est un projet d'action préventive contre la menace d'un changement de climat général. Son objectif final est de parvenir à stabiliser la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre à un niveau permettant d'éviter une dangereuse perturbation anthropogène du système climatique. Ce niveau doit être atteint dans un délai suffisant pour: 1°) permettre aux écosystèmes de s'adapter de façon naturelle à un changement climatique, 2°) ne pas menacer la production alimentaire, 3°) assurer la poursuite durable du développement économique.

En signant cette convention, les pays industrialisés – les principaux coupables de l'émission de CO₂ – se sont engagés à mener une politique destinée à ramener au

niveau de 1990 leurs émissions de gaz à effet de serre et cela, pour l'an 2000. Certains d'entre eux ont même été plus loin, en promettant une réduction de ces rejets en dessous du niveau de 1990. Tout bien considéré, il s'agissait là de promesses en l'air.

L'année 1998 n'a pas encore apporté de nouvelles réjouissantes au sujet des objectifs à atteindre. Des calculs basés sur des modèles indiquent en effet qu'une limitation des émissions de gaz à effet de serre au niveau de 1990 ne sera pas suffisante pour éviter une dangereuse perturbation anthropogène du système climatique au cours du siècle prochain. Une restriction plus poussée s'avère absolument indispensable pour atteindre l'objectif de la convention. Et c'est ce que les grands de ce monde ne semblent pas avoir compris, cinq ans après le Sommet de Rio. Les pays signataires de la convention sur le climat se sont réunis à Kyoto, au Japon, en décembre 1997, pour la troisième Conférence des Parties. Après dix jours de négociations

serrées, ils ont fini par se mettre d'accord sur une série de décisions. Les pays industrialisés se sont engagés à réduire d'une moyenne de 5,2% en dessous du niveau de 1990, leurs émissions de dioxyde de carbone, de méthane, de gaz hilarant et de trois autres gaz à effet de serre (les HFC, les PFC ou perfluorocarbones et le SF₆ ou hexafluorure de soufre). Cet objectif est à réaliser entre 2008 et 2012. L'Europe et les Etats-Unis vont un tout petit peu plus loin, avec une réduction respective de 8 et 7%, tandis que le Japon a accepté une diminution de 6%. D'autres nations par contre, comme l'Australie, l'Islande et la Finlande peuvent encore augmenter leurs émissions d'environ 10%. Les pays en voie de développement sont exemptés de ces nouveaux accords. Le monde risque pourtant de s'en repentir, compte tenu de la croissance économique spectaculaire prévue pour la Chine et l'Inde au cours des prochaines années. Une aide financière spéciale pourrait toutefois inciter ces pays à prendre malgré tout certaines mesures. Le

principe du commerce de droits d'émission, une des exigences importantes des USA, a finalement été accepté. Ce principe signifie que les pays industrialisés qui parviendront à réduire leurs émissions de polluants en deçà du pourcentage auquel ils se sont engagés, seront autorisés à vendre aux pays en voie de développement, le droit d'émettre la quantité «manquante» de polluants.

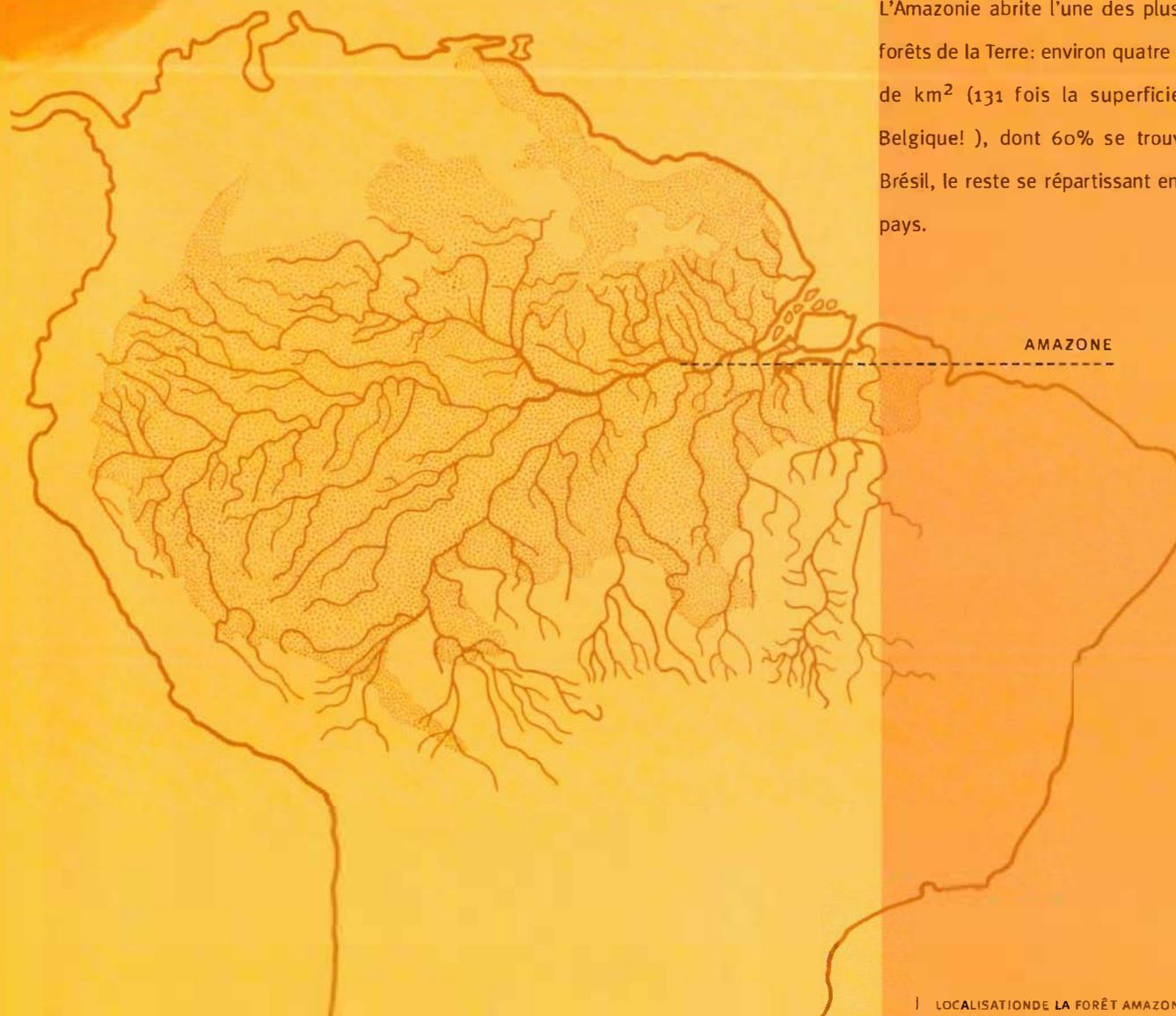
D'après les experts et les organisations de défense de l'environnement, ce protocole est loin d'assurer une réduction suffisante et ne ralentira nullement le réchauffement de la Terre. Du fait du nombre de portes de sortie ménagées, nous risquons en effet d'assister à une hausse globale des émissions de gaz à effet de serre. L'opinion publique parviendra peut-être à faire pression sur les gouvernements afin d'obliger ceux-ci à prendre les mesures nécessaires pour amoindrir l'effet de serre. Mais pour les climatologues, une seule chose est certaine: nous n'échapperons pas à un réchauffement de notre planète.





4 Le cancer de la forêt Amazonienne

L'Amazonie abrite l'une des plus vastes forêts de la Terre: environ quatre millions de km² (131 fois la superficie de la Belgique!), dont 60% se trouvent au Brésil, le reste se répartissant entre huit pays.



| LOCALISATION DE LA FORÊT AMAZONIENNE

| Carte d'identité

Le climat dans lequel prospère la forêt amazonienne se résume en peu de mots: chaleur et pluie toute l'année.

CLIMAT DE UAUAPÈS, EN AMAZONIE BRÉSILIENNE (LAT. 0°04's)

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
Temp. (°C)	25,2	25,5	25,8	25,7	25,2	24,8	24,3	24,6	25,2	25,8	25,9	25,8	Moyenne 25,3
Pluie (mm)	295	250	285	290	348	235	230	185	175	165	170	268	total 2.896

SOURCE | D'APRÈS J. DEMANGEOT, «LES MILIEUX NATURELS DU GLOBE», ÉD. MASSON GÉOGRAPHIE, 1994.

En l'absence de saisons bien marquées, la chute des feuilles, mais aussi la floraison et la fructification sont étalées tout au long de l'année.

A 30-50 mètres au-dessus du sol, les cimes des arbres s'imbriquent comme les pièces d'un puzzle et forment la canopée. Quelques spécimens gigantesques émergent de cette voûte de feuillage.

Les averses fréquentes et la transpiration végétale saturent l'air d'humidité. La pénombre règne dans le sous-bois, car la canopée intercepte la majeure partie des rayons du soleil.

Fougères, mousses, orchidées et bien d'autres plantes colonisent le tronc et les branches des arbres, à la recherche de la lumière. Ces végétaux sans contact avec le sol, s'alimentent grâce à l'eau de pluie et à la décomposition des feuilles mortes et autres déchets retenus dans les anfractuosités de leur arbre-support. Ils sont qualifiés de plantes épiphytes.

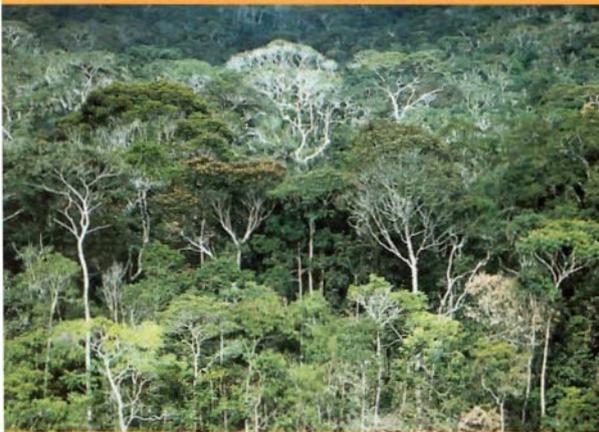
L'écosystème forestier, établi sur une terre très pauvre, fonctionne grâce au recyclage rapide des feuilles mortes, cadavres et excréments des animaux, qui pourrissent au sol. Les arbres sont en prise directe avec cette source d'aliments, grâce à un réseau de racines superficielles.



| DE LUXURIANTS JARDINS SUSPENDUS.



| UN RÉSEAU DE RACINES SUPERFICIELLES.



| UNE FORÊT TOUJOURS VERTE.



Berceau de plantes et d'animaux rares, souvent uniques au monde (espèces dites endémiques), et détentrice du record mondial du nombre d'espèces vivantes: la forêt amazonienne devrait forcer notre respect! Mais aujourd'hui, cet écosystème est gravement menacé par les activités humaines.

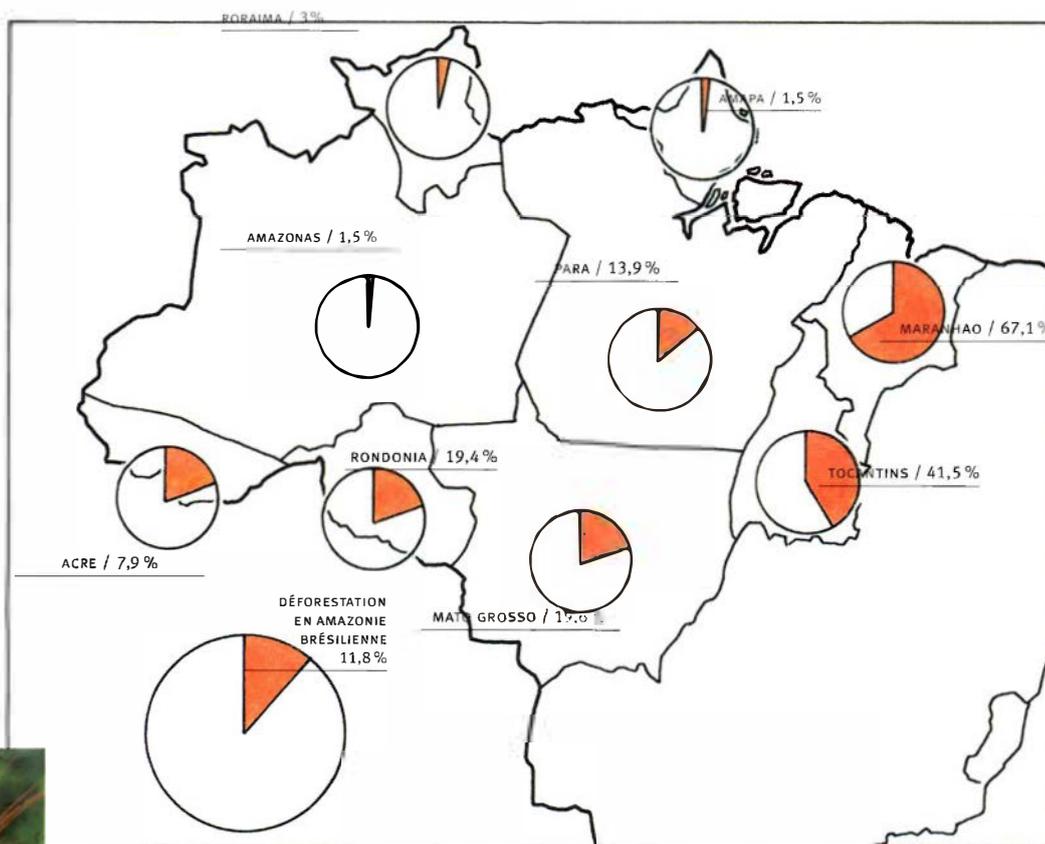
| UNE FAUNE ET UNE FLORE FABULEUSES



| Une peau de chagrin

L'homme déboise l'Amazonie à un rythme effrayant! Au Brésil, par exemple, la forêt amazonienne se déployait initialement sur un peu plus de quatre millions de km². La première vague de déforestation à grande échelle y a déferlé au XVI^e siècle, avec l'arrivée des explorateurs européens. Entre cette époque et 1970 (date de la construction des premiers tronçons de l'autoroute transamazonienne), 2% de la superficie boisée avaient disparu. Quelque vingt années plus tard, en 1989, cette proportion atteignait déjà 5%. Enfin, en 1994 (soit à peine cinq ans plus tard), la partie détruite avait plus que doublé: les activités humaines avaient grignoté environ 12% de la forêt d'origine. Dans l'absolu, ce chiffre peut paraître faible. Mais il y a de quoi avoir peur, car la machine destructrice s'est emballée ces dernières années...

Dans la première moitié des années 90, les régions brésiliennes les plus touchées par ce cancer étaient le Maranhão et le Tocantins. Mais depuis lors, des métastases ont atteint l'extrême nord du pays (régions d'Amapá et du Roraima) et la tumeur se propage rapidement à partir des cours d'eau amazoniens et des routes tracées dans la forêt.



ENTRE LE XVI^e SIÈCLE ET 1994:
UN CONSTAT INQUIÉTANT...

Déforestation: une question de survie pour les uns, de profits pour les autres...

Élevage et plantations

La conversion de la forêt en pâtures pour les bovins détient la triste palme d'or de la déforestation amazonienne. Les principaux responsables sont les **grands «barons»** de la viande, qui possèdent des ranches de mille hectares ou plus. La viande de bœuf est principalement destinée à l'exportation (approvisionnement à bon marché des fast-foods d'Amérique du Nord et d'ailleurs...).

SCANDALE EN AMAZONIE

Au Brésil, la ruée vers l'or vert amazonien a débuté en 1966, lorsque le gouvernement a décidé de tirer profit de cet immense arrière-pays. Pour encourager la colonisation agricole et en particulier l'implantation de pâturages pour l'élevage de bovins, l'Etat a offert des facilités incroyables aux gros investisseurs: prêts sans intérêt, dispense totale d'impôts, promesses de routes, d'aéroports et d'aménagements hydroélectriques, etc. De nombreux petits paysans en mal de terre se sont eux aussi lancés à la conquête de la forêt, car il suffisait de déboiser pour établir son droit à la propri-

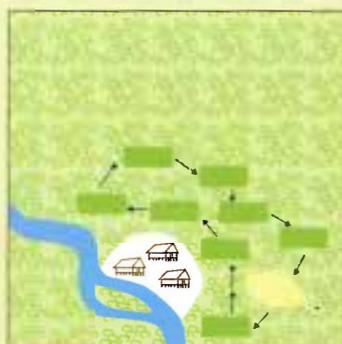
été. Le rêve amazonien a cependant rapidement tourné au cauchemar... En effet, les grands propriétaires, freinés dans leurs ambitions, ont engagé des milices privées qui leur ont permis de s'approprier par la force et au besoin la torture et l'assassinat, les terres des Indiens, des paysans et des seringueiros (récolteurs de caoutchouc).

Depuis quelques années heureusement, les Indiens et les petits exploitants de la forêt amazonienne se sont alliés pour tenter d'obtenir une protection légale des terres qu'ils occupent. Ils sont soutenus par plusieurs organisations de défense des droits de l'homme.

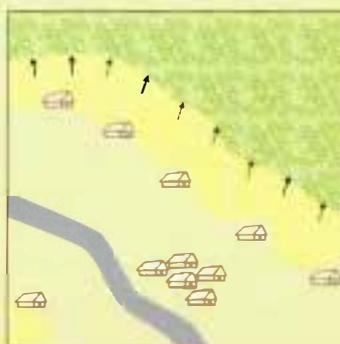
La deuxième place revient au défrichage pour l'implantation de cultures. En raison de l'inégalité foncière – au Brésil, par exemple, 40% des sols les plus productifs appartiennent à de grands propriétaires qui ne représentent que 1% de la population –, un grand nombre de paysans poussés par la misère et l'absence de terres disponibles ailleurs se tournent vers la forêt. Ils y pratiquent une agriculture de subsistance, tandis que de gros propriétaires et des firmes d'agro-business établissent des plantations commerciales sur une grande échelle, le plus souvent pour l'exportation (cacao, café, cacahuètes, coton, maïs, manioc, coca, etc.)

| L'ÉLEVAGE EXTENSIF DE BOVINS EST LA PRINCIPALE CAUSE DE DÉFORESTATION EN AMAZONIE.





DES PRATIQUES INDIGÈNES ITINÉRANTES...



... À LA PETITE AGRICULTURE DES COLONS

-  FORÊT ÉPARGNÉE
-  CULTURES
-  REPOUSSE DE LA FORÊT SUR ANCIENNE PARCELLE CULTIVÉE

UNE PRATIQUE AU RENDEMENT ÉPHÉMÈRE

L'exploitation agricole des forêts débute par le brûlage des arbres abattus, dont les cendres enrichissent la terre. On installe alors des cultures (du riz, par exemple) ou on fait paître le bétail (grâce à des semis de graminées ou à la repousse naturelle des herbes). Mais le potentiel nutritif du sol n'est plus entretenu par la décomposition d'une masse importante de débris forestiers. Et la voûte forestière n'est plus là pour intercepter une bonne partie des averse. Dès lors, l'abondante eau de pluie qui s'infiltré dans le sol, entraîne en profondeur les éléments minéraux contenus dans les cendres. C'est le phénomène du lessivage. En trois à cinq ans d'exploitation, le terrain est épuisé... et les paysans sont contraints de détruire une nouvel-

le portion boisée... Les gros propriétaires préfèrent eux aussi pousser plus loin la conquête forestière, car cela leur coûte moins cher que d'épandre des engrais. Sur les parcelles abandonnées, même la repousse de la forêt est compromise!

De nombreuses tribus d'Indiens pratiquent depuis des siècles une agriculture itinérante sur brûlis, sans pour autant mettre en danger la forêt. Le succès de ces pratiques traditionnelles est lié à deux éléments:

- Ces communautés indigènes connaissent des densités de population très inférieures à celles des colons. Elles peuvent donc espacer de quinze ans ou plus, deux exploitations successives de la même parcelle de forêt, ce qui évite de surexploiter le sol et n'empêche

donc pas la repousse des arbres après l'abandon de la parcelle cultivée. Les feuilles mortes et autres débris forestiers alimentent le sol en attendant une nouvelle exploitation agricole. Malheureusement, les colons n'ont ni l'expérience acquise par les Indiens, ni la tradition de vie itinérante, nécessaires pour vivre en équilibre avec l'écosystème forestier. Ils sont très attachés à leur terre, qu'ils défrichent de manière radicale et exploitent jusqu'à l'épuiser.

- Les Indiens exploitent de petites parcelles éloignées les unes des autres, sans les défricher complètement, tandis que les colons créent un large front de déboisement qui avance inexorablement.



L'EXPLOITATION INDUSTRIELLE DU BOIS NIT GRAVEMENT À LA FORÊT AMAZONIENNE.

Commerce du bois

Bien que le pourcentage d'arbres abattus soit relativement faible - seul un petit nombre d'espèces forestières se vendant à bon prix sur les marchés internationaux -, la forêt en souffre profondément. Pour atteindre, couper et ensuite extraire les spécimens intéressants, beaucoup d'autres sont abattus ou endommagés... De plus, cette industrie crée des axes de pénétration dans la forêt, dans lesquels s'engouffrent les paysans en mal de terre.

Exploitation minière

Le sous-sol amazonien recèle des trésors: gisements de diamants, d'or, d'argent, de fer, de bauxite, de cuivre, etc. Mais accéder à ces richesses nécessite un déboisement. De plus, l'alimentation des fonderies où l'on extrait le métal du minerai, nécessite d'impressionnantes quantités de charbon de bois... bois prélevé sur la forêt.

L'exploitation de gisements de pétrole et de gaz naturel menace également la forêt amazonienne.

Energie des cours d'eau

L'Amazone et ses affluents représentent un potentiel d'énergie hydroélectrique sans égal. Mais la construction d'un barrage exige qu'une portion importante de la forêt environnante soit inondée.

Parmi les cent trente-six grandes retenues d'eau que le Brésil projette pour 2010, vingt-deux seront situées en Amazonie. Elles engloutiront 250.000 km² de forêt - soit un territoire supérieur à celui de la Grande-Bretagne!

LA MINE DE CARAJÁS EST LE PLUS IMPORTANT GISEMENT DE FER AU MONDE.

| Ailleurs sous les tropiques...

Le cas de l'Amazonie, une exception? Loin de là! Le déboisement est véritablement le cancer des tropiques. Mais, suivant les continents, l'ennemi numéro un des forêts tropicales diffère: grands élevages et cultures (commerciales et de subsistance) en Amérique; industrie du bois en Asie, agriculture de subsistance et prélèvement de bois de chauffe (à destination des populations locales et des villes) en Afrique.

LE QUARTÉ GLOBAL DE LA DÉFORESTATION TROPICALE

À l'échelle de la planète, les principales causes de la disparition des forêts tropicales sont, dans l'ordre:

- la mise en culture des sols forestiers;
- l'exploitation industrielle du bois (bois de construction, bois destiné à la fabrication de pâte à papier, etc.);
- l'exploitation du bois en tant que combustible, par exemple, pour cuisiner;
- l'implantation de pâturages pour l'élevage de bétail.

Les forêts tropicales se trouvent presque toutes dans des pays en voie de développement. Pour cette raison, leurs véritables ennemis sont la croissance démographique, la pauvreté et l'endettement national. En raison de la surpopulation dans les zones cultivables et du partage inégal des terres au profit d'une minorité de gros propriétaires, des millions de paysans sans terre se tournent en effet vers la forêt. De plus, dans certains pays en crise, de nombreux citoyens sans travail se reconvertissent dans l'agriculture. En encourageant les plus démunis à se tourner vers les zones boisées, les gouvernements espèrent alléger les tensions sociales liées à l'inégalité foncière.



DES CHIFFRES EFFRAYANTS!

D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), la superficie boisée sous les tropiques est passée d'environ 19 millions de km² en 1980, à quelque 17,5 millions de km² en 1990. En moyenne, pendant cette décennie, un peu plus de 150.000 km² de forêts ont donc disparu chaque année – soit, à chaque seconde, l'équivalent d'un terrain de football (5.000 m²)!

Le taux de disparition a marqué un léger ralentissement entre 1990 et 1995, avec une moyenne annuelle de 137.000 km². Même si ce rythme se stabilise, il ne restera plus grand-chose des forêts tropicales d'ici quelques décennies, à l'exception des zones protégées, dont la taille est relativement peu importante. Même si ces chiffres sont contestés, les estimations minimales restent inquiétantes.

Par ailleurs, ces Etats encouragent l'implantation de gros investisseurs (agriculteurs, éleveurs de bovins, exploitants du bois, exploitants miniers, etc.) pour développer leur économie et s'ouvrir de plus en plus au commerce extérieur, afin de rembourser la dette nationale.

Les firmes des pays tropicaux ne sont pas les seules engagées dans l'exploitation des richesses forestières: de nombreuses sociétés étrangères sont également présentes, dans une course au profit à court terme. La responsabilité des nations industrialisées ne s'arrête pas là: leurs consommateurs (dont nous sommes!) sont demandeurs de bois exotiques et de produits agricoles bon marché (viande de bœuf, huile de palme, cacao, etc.) et exercent ainsi une pression indirecte sur les forêts. De plus, leurs institutions financières ont fourni et fournissent encore à l'heure actuelle, d'importants

fonds pour le développement d'élevages de bovins, de réseaux routiers, de barrages hydroélectriques, d'exploitations minières et d'autres secteurs d'activités préjudiciables aux forêts tropicales.

Le constat de la déforestation tropicale: des maux en tous genres...

Des extinctions en série

Les forêts tropicales abritent vraisemblablement plus de 50% des espèces animales et végétales de la planète. La survie de ces formes vivantes d'une profusion exceptionnelle et souvent d'une grande rareté, est gravement menacée par la destruction de leur habitat.

PORTIONS DE FORÊT ÉPARGNÉES?

FAUNE ET FLORE ÉGALEMENT MENACÉES!

Raser une forêt n'est pas la seule cause de la disparition d'espèces vivantes. Épargner certaines portions boisées – ou, en d'autres termes, fragmenter le «continent» forestier d'origine en plusieurs «îlots» – mène, à terme, au même résultat. En effet, comme la superficie totale de l'habitat boisé diminue, ses «capacités d'hébergement» sont moindres qu'auparavant, et certaines espèces disparaissent en même temps que leurs ressources vitales (au sens large: sources de nourriture, sites d'accouplement ou d'élevage des jeunes, aires de repos, partenaires sexuels, etc.) De plus, la séparation des différents îlots forestiers par une route, une parcelle agricole, etc. peut constituer un obstacle aux mouvements des animaux (déplacement vers la source de nourriture, par exemple) et à la dissémination du pollen et des graines des plantes. Une difficulté supplémentaire pour la survie de nombreuses formes de vie...

De par la complexité des liens qui unissent les espèces vivant en forêt tropicale, la disparition de l'une d'entre elles peut être suivie par de nombreuses autres, par une sorte d'effet domino. Les avis des spécialistes divergent quant au taux de dispari-

QUELQUES ESTIMATIONS DU TAUX D'EXTINCTION LIÉ À LA DÉFORESTATION SOUS LES TROPIQUES:

- 1 espèce toutes les heures à l'horizon de l'an 2000;
- 17.500 espèces par an;
- 1 million d'espèces entre 1985 et l'an 2000;
- 10 à 38% de toutes les espèces entre 1990 et 2020.

Les divergences entre ces estimations sont liées au fait que les scientifiques qui les ont proposées se basent sur des évaluations différentes:

- du nombre total d'espèces vivantes (entre 3 et 10 millions, avec seulement 1,4 million d'espèces décrites à ce jour);
- de la proportion d'espèces vivant en forêts tropicales (entre 25 et 70% – une estimation courante étant de l'ordre de 50%);
- du taux de déforestation tropicale à l'échelle mondiale (entre 0,5 et 2% par an);
- de la relation mathématique établie entre le taux d'extinction et la perte d'habitat forestier.

tion des espèces vivantes qui découle du déboisement des tropiques. Mais tous s'accordent à dire que les extinctions y sont plus nombreuses que dans l'ensemble des autres régions du monde. Une véritable crise de la biodiversité (ou diversité du vivant) s'y déroule.

Pourquoi est-il donc si important de préserver la variété de la faune et de la flore de ces forêts? Les réponses varient suivant la valeur que l'on attribue à la vie qui foisonne dans cet écosystème.



La protection de nos intérêts

Les forêts tropicales sont le lieu d'origine de nombre de produits que nous utilisons couramment ou plus occasionnellement. La disparition d'espèces encore inconnues nous prive d'une manne potentielle de nouveaux produits, mais aussi d'une fabuleuse banque de gènes tant pour l'amélioration des végétaux cultivés et des animaux d'élevage, que pour les biotechnologies (production industrielle de substances chimiques, pharmacologiques et agro-alimentaires, grâce à la modification du patrimoine génétique de bactéries et autres micro-organismes). Le «principe de précaution» s'impose donc: dans le doute, il vaut mieux s'abstenir de faire disparaître des formes de vie peut-être utiles.

La sauvegarde d'un patrimoine universel

Les forêts tropicales, joyaux naturels d'une incroyable diversité biologique, n'appartiennent-elles pas au patrimoine de l'humanité, à l'image, par exemple, des chefs-d'œuvre de la peinture, de l'architecture ou de la musique?

LES LARGESSES DES FORÊTS TROPICALES.

Dans cet esprit, des communautés amérindiennes d'une province amazonienne de l'Equateur (Pastaza) ont entamé des démarches pour que leurs territoires soient reconnus par leur gouvernement national et par l'UNESCO, comme patrimoine de la culture et de la biodiversité.

La préservation du droit à exister

De toutes les espèces amenées à disparaître, la plupart n'ont a priori aucun potentiel économique ou n'ont tout simplement pas la beauté, le côté spectaculaire, ou tout autre trait susceptible de leur valoir notre



LA DISPARITION D'ESPÈCES: PAS SEULEMENT UN PROBLÈME TROPICAL!

En raison de sa croissance démographique mondiale, l'homme nécessite toujours plus d'espaces pour subvenir à ses besoins, détruisant ainsi ou dégradant profondément de nombreux habitats naturels. La disparition d'espèces animales et végétales constitue donc un problème de dimension planétaire, qui affecte tous les types d'écosystèmes. Face à ce constat, la Convention sur la

intérêt. Doit-on pour autant dénier à ces êtres vivants le droit de vivre? Ne faut-il pas envisager la question sous un autre angle: celui du principe de Noé, qui dans sa grande sagesse avait admis sur son arche tout ce qui vivait sur Terre? Le simple fait que ces espèces existent n'est-il pas en réalité leur unique critère de valeur?

La dégradation du sol

La voûte forestière joue le rôle d'un parapluie finement troué: elle intercepte une bonne partie des averses et diminue d'autant la quantité d'eau qui atteint le sol. Par ailleurs, elle réduit la force des gouttes qui la traversent. Lorsque les arbres sont abattus, le sol est donc directement soumis à l'action des fortes pluies. Le calcium, le magnésium et les autres éléments minéraux issus de la décomposition des matières mortes (ou des cendres de la forêt) sont entraînés en profondeur, par la percolation d'importantes quantités d'eau. Résultat: un appauvrissement rapide du sol.

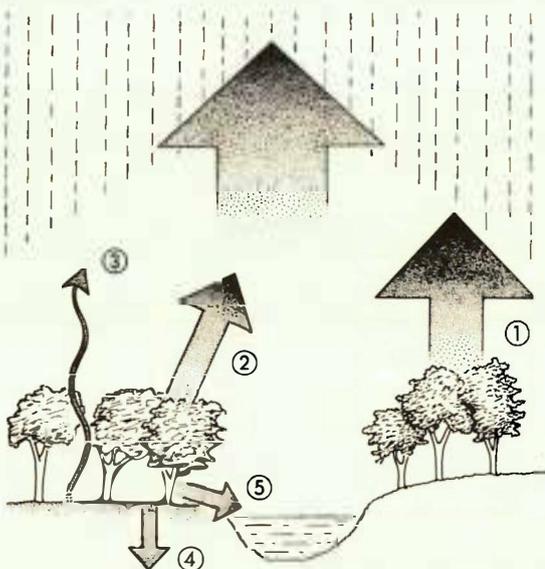
Sur les sols en pente ou sur les grandes surfaces de moindre relief laissées à nu, un autre problème se pose, l'érosion: la mince couche de terre contenant les éléments nutritifs a vite fait d'être emportée par l'eau qui ruisselle. Dès lors, plus rien ne peut y pousser...

Diversité biologique a pour objectifs: 1°) la conservation de la diversité du monde vivant; 2°) l'utilisation durable de ses composantes; 3°) le partage équitable des avantages découlant de l'exploitation de ses ressources génétiques. Cette convention a été proposée à la signature de plus de 150 pays, lors du Sommet de la Terre qui s'est tenu à Rio de Janeiro en 1992. Elle a été ratifiée par notre pays en novembre 1996 et y est entrée en vigueur le 20 février 97.

L'appauvrissement et l'érosion du sol mettent fortement en péril les pratiques agricoles - un problème extrêmement grave en raison du manque de terres pour les cultures et les pâtures sous les tropiques. Même la repousse de la forêt est menacée après le départ des paysans, exploitants du bois et autres responsables de l'abattage.

La perturbation du régime des pluies

La pluie qui arrose les forêts tropicales provient en grande partie d'un recyclage local de l'eau tombée quelques temps auparavant. Lorsque la forêt est détruite, le recyclage local de la pluie diminue radicalement. En effet, la transpiration végétale et l'évaporation à partir des feuillages mouillés sont fortement réduites. Moins de vapeur d'eau renvoyée dans l'atmosphère, moins de pluie! La repousse de la forêt ou les paysans en pâtissent. La diminution de l'ascendance de masses d'air chargées d'humidité, au-dessus de la zone déboisée, peut provoquer des dérèglements dans les régions voisines.



Moins de pluie ici, plus de pluie là-bas: c'est ce que prédisent les modèles mathématiques utilisés par les climatologues! Au rythme où les forêts disparaissent sous les tropiques, les spécialistes craignent même une perturbation de la circulation atmosphérique de la vapeur d'eau, et du régime des pluies, à l'échelle de la planète... Impossible cependant, à l'heure actuelle, de prouver quoi que ce soit à ce propos!

Un coup de pouce au réchauffement de la planète

Les arbres ont la capacité de transformer le gaz carbonique (CO_2) en matières solides à longue durée de vie: branches, tronc et racines. Les forêts peuvent donc être comparées à d'énormes pièges à CO_2 atmosphérique. Une propriété intéressante, quand on se rappelle que l'homme rejette dans l'atmosphère d'énormes quantités de CO_2 - un gaz à effet de serre qui participe au réchauffement de la Terre...

LE CYCLE DE L'EAU EN FORÊT TROPICALE

- ① Les arbres et les plantes forestières perdent par transpiration une grande part de l'eau qu'ils ont absorbée. Cette émission de vapeur participe au recyclage de la pluie.
- ② L'évaporation de l'eau interceptée par la canopée y joue également un rôle.
- ③ L'évaporation à partir du sol mouillé est quant à elle négligeable.
- ④ L'eau qui s'infiltre dans le sol (percolation)...
- ⑤ et qui ruisselle à sa surface, finit par rejoindre une rivière (directement ou via la nappe phréatique). Cette partie de la pluie ne sera pas recyclée sur le lieu même où elle était tombée.

LES FORÊTS: DES USINES QUI CARBURENT AU CO_2

La photosynthèse permet à l'arbre de transformer le gaz carbonique CO_2 en sucres qui (avec les éléments minéraux puisés dans le sol) serviront de base à l'élaboration de toutes les molécules à base de carbone nécessaires pour fabriquer de nouveaux tissus.

A la fin de sa vie, qui dépasse souvent une centaine d'années, l'arbre a thésaurisé dans son tronc, ses branches et ses racines, une impressionnante quantité de carbone d'origine atmosphérique. A l'échelle d'une forêt, ce stockage est phénoménal!

La décomposition d'un arbre mort relâche dans l'atmosphère le CO_2 qui y était emmagasiné. Mais en forêt, quand un arbre meurt, un autre se développe... et stocke du gaz carbonique.

Un massif boisé fonctionne donc en permanence comme un immense piège à carbone d'origine atmosphérique: les scientifiques parlent d'un «puits» de CO_2 .

L'ensemble des forêts tropicales de la planète stockeraient ainsi dans leur matière vivante une quantité de CO_2 1,5 à 2 fois supérieure à celle présente dans l'atmosphère.

Le déboisement prive l'atmosphère d'une énorme «trappe» à CO_2 . Ce ne serait pas grave, si la forêt pouvait ensuite repousser. Mais voilà: le sol se dégrade si vite quand il est mis à nu, cultivé ou mis en pâture, que les arbres ne peuvent y repousser...

Par ailleurs, l'incinération des arbres abattus émet de grandes quantités de gaz carbonique. A titre d'exemple: la combustion d'un hectare de forêt libère 220 tonnes de carbone sous forme de CO_2 .

Moins de stockage d'une part, plus de rejets d'autre part: deux façons négatives d'agir sur la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre. D'après les estimations du GIEC (le Groupe Intergouvernemental d'Experts pour l'étude du



LA DÉFORESTATION TROPICALE PARTICIPE À L'AUGMENTATION DE L'EFFET DE SERRE, NOTAMMENT PAR LE BRÛLAGE DES ARBRES ABATTUS.

changement climatique; en anglais: Intergovernmental Panel on Climate Change ou IPCC), l'homme a émis tous les ans, entre 1980 et 1989, 7,1 milliards de tonnes de carbone dans l'atmosphère (principalement en raison de l'utilisation de carburants fossiles). Par rapport à ce total, 1,6 milliard de tonnes (soit 22%) sont dues à la déforestation tropicale. Cette dernière participe donc de manière substantielle au renforcement de l'effet de serre et au réchauffement de la planète.

Des peuples en sursis?

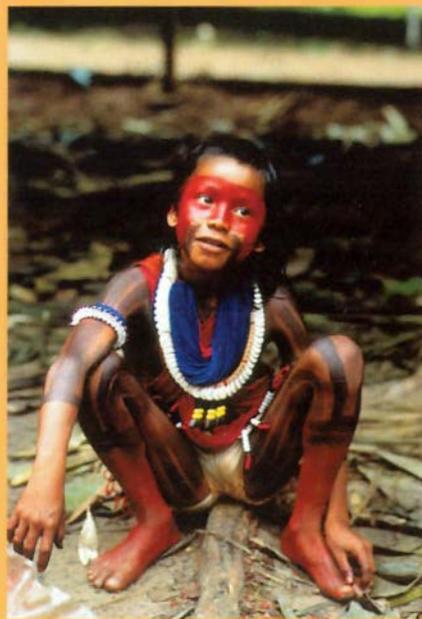
La présence de communautés humaines dans les forêts tropicales remonte à des millénaires. Aujourd'hui encore, de nombreux peuples indigènes y vivent de chasse et de pêche, de cueillette, mais souvent aussi d'agriculture itinérante. Ils y trouvent tous les produits indispensables: matériaux de construction, bois de chauffage, outils, terre à poterie, vêtements, médi-

caments, etc. Ces sociétés considèrent leur environnement nourricier comme étant relié à leurs croyances et valeurs spirituelles. Leur survie en dépendant, elles ont toujours eu comme souci essentiel la conservation des forêts. Et ceci, même si elles ont contribué à modifier et à façonner leur univers, en cultivant et en sélectionnant les espèces les plus adaptées à leurs besoins. Depuis plusieurs dizaines d'années - et ce processus va s'accroissant -, l'exploitation du bois, l'établissement de ranches et de cultures, ainsi que les concessions minières et pétrolières (entre autres) grignotent d'immenses zones de territoires de ces peuples autochtones. Ceux-ci ne disposent souvent plus que de territoires restreints qui ne suffisent plus au maintien de leur mode de vie itinérant. Faute d'alternative, ils se trouvent fréquemment contraints de surexploiter leurs terres et donc de les appauvrir irrémédiablement. Un grand nombre de ces

communautés sont aussi confrontées de manière brutale au monde moderne, qui les transforme en parias d'une société qu'elles n'ont pas choisies. Alcoolisme, prostitution, délinquance, décimation par des maladies bénignes pour nous, mais vis-à-vis desquelles elles n'ont aucune immunité (grippe, rhume,...) sont au rendez-vous. L'invasion et la dévastation de leur univers représentent donc le déclin culturel, la déchéance morale et physique, et souvent la mort de tribus entières. Un exemple: chaque année, depuis le début du siècle, une tribu amazonienne s'est éteinte au Brésil.

Comme la majorité des forêts tropicales sont considérées comme propriétés des Etats, la sécurité juridique des peuples indigènes par rapport au sol et au sous-sol est extrêmement précaire. L'attitude la plus courante pour les gouvernements en place consiste à ignorer ces tribus ou à les considérer comme une entrave au déve-

loppement économique de la nation. Encore peu représentées au niveau des instances du pouvoir, les communautés des forêts tentent aujourd'hui de faire entendre leur voix et ceci tant au sein des pays dont elles dépendent, qu'au niveau d'institutions internationales comme les Nations Unies. Leurs revendications fondamentales: la propriété du sol, des droits d'usage et de libre circulation sur leurs terres, et la possibilité d'en restreindre l'accès aux colons, industriels et autres intervenants extérieurs mettant leur avenir en péril. C'est dans ce contexte qu'il faut comprendre le processus de démarcation de territoires indigènes en cours dans divers pays du bassin amazonien, auquel plusieurs gouvernements de la région ont finalement dû accepter de souscrire. La survie de ces peuples et de leur environnement pourrait être d'une grande utilité aux citoyens des pays développés - dont nous sommes! Un exemple parmi d'autres: leurs connaissances de la pharmacopée végétale favoriserait la découverte de plantes à vertus médicinales nouvelles.



INDIEN KAYAPO, AMAZONIE BRÉSILIENNE

Quelques idées pour sauver les forêts tropicales

Garantir un niveau de vie décent aux populations rurales des tropiques

Il ne semble pas y avoir de solution miracle aux processus qui entraînent la déforestation, pour la bonne raison que c'est bien le facteur humain qui se situe au cœur du phénomène. Aussi longtemps que des centaines de millions de personnes à bas revenus devront se battre au jour le jour pour survivre, la tentation d'exploiter au-delà du soutenable les maigres ressources à leur disposition persistera. Sans un développement économique plus égalitaire au niveau mondial et en l'absence de programmes volontaristes de lutte contre la pauvreté, il y a donc peu de chances que les partisans de la conservation - souvent situés au Nord - l'emportent sur les nécessités de développement des habitants pauvres du Sud.

Créer des espaces protégés

La superficie des forêts tropicales juridiquement classées afin de protéger la diversité biologique, le sol et les eaux, est en nette croissance à travers le monde. Mais ces données quantitatives encourageantes ne résistent pas à une évaluation

réaliste de l'efficacité de la protection des zones classées. Il s'agit bien souvent de «parcs» fictifs qui n'existent que sur le papier ou qui, sur le terrain, sont gérés de manière médiocre et non durable. En cause: des législations souvent inadéquates et mal appliquées; des supports institutionnels faibles et des sources de financement (pour la formation et la rémunération des gestionnaires de sites) généralement insuffisantes.

En outre, les critères qui président à l'établissement d'un site classé sont le plus souvent pragmatiques, car il faut faire face à la pression croissante qui s'exerce sur les terres forestières tropicales. La représentativité de ces zones en termes de diversité biologique, la superficie nécessaire à la survie des grands prédateurs et autres critères écologiques, sont rarement pris en compte! Enfin, les sites qui existent sont de toutes façons menacés par les activités humaines environnantes.

Il existe plusieurs façons de protéger les forêts tropicales. Si les populations qui vivent largement des produits forestiers se voient restreindre l'accès à leurs terroirs traditionnels au nom d'une certaine idée de la protection de la nature (forêts «sous

ÉTENDUE DES FORÊTS TROPICALES JURIDIQUEMENT CLASSÉES À DES FINS DE PROTECTION ET DE CONSERVATION (FIN 1990)

RÉGION	SUPERFICIE FORESTIÈRE TOTALE	SUPERFICIE CLASSÉE
Afrique	5.276.000 km ²	259.000 km ²
Asie	3.106.000 km ²	705.000 km ²
Amérique	9.181.000 km ²	1.165.000 km ²
Total	17.563.000 km ²	2.129.000 km ²

SOURCE | FAO, 1995

cloche», préservées de l'action de l'homme, un prédateur nécessairement nuisible), comment s'étonner de leur résistance passive, voire de leur volonté de contourner les obstacles qu'on leur impose, surtout si aucune activité ou revenu de compensation ne remplace la perte de leurs ressources?

Actuellement, de grands organismes comme le WWF (WorldWide Fund for Nature) et l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (en anglais: IUCN) sont convaincus qu'une protection plus efficace passe par une concertation suivie avec les populations locales et par des mesures basées sur les observations et le savoir-faire de celles-ci, tout en évitant de les priver de ressources vitales.

Il s'agit en fait de mettre en pratique la notion de développement durable: dépasser l'antagonisme apparent entre les contraintes qu'impose la conservation de l'environnement, et le souci d'un développement économique.

Exploiter le bois, le gibier, le latex et les autres produits forestiers de façon soutenable à long terme ne s'improvise pas: des programmes d'éducation doivent être mis en place! Enfin, l'ouverture de certaines réserves au tourisme devrait permettre de consolider l'économie des pays concernés, tout en créant des emplois pour les autochtones, dont les connaissances du milieu forestier tropical seront ainsi mises en valeur.

Réviser les pratiques agricoles

Il faut bien admettre que, telle qu'elle est principalement pratiquée aujourd'hui, l'agriculture en forêts tropicales dégrade le sol au point d'en compromettre rapidement toute exploitation.

En attendant une hypothétique réforme agraire, à laquelle les grands propriétaires terriens et leurs alliés politiques se refusent obstinément, une solution d'avenir pour limiter la pression agricole sur les forêts existe: c'est l'agroforesterie. Cette pratique consiste à mêler sur la même parcelle:

- des cultures très diversifiées, qui procurent des produits de subsistance (manioc, patate douce, igname, ...), mais aussi des produits commercialisables (cacao, café, canne à sucre, etc.);
- l'élevage de petits animaux;
- la plantation d'arbres qui fourniront des fruits, des graines, des épices, des boissons, des substances médicinales, des fibres, du bois, etc.

L'efficacité et le caractère durable de cette méthode d'exploitation du sol reposent sur la reconstitution progressive d'un «parapluie» d'arbres sur la parcelle de forêt abattue et brûlée. Cette pratique permet de lutter contre les actions néfastes des averses tropicales (lessivage des éléments minéraux, érosion du sol) et de maintenir ainsi le potentiel nutritif de la terre. Elle s'inspire en partie du savoir-faire des communautés indigènes, comme par exemple les Indiens d'Amazonie, qui laissent en place quelques arbres sur la parcelle où ils installent de petites cultures diversifiées.

La décomposition des débris des cultures, du feuillage des arbres et des excréments des animaux d'élevage, permet d'enrichir le sol de manière naturelle – et donc non coûteuse. L'agroforesterie allonge ainsi la durée de vie des parcelles exploitées. Le

L'AGROFORESTERIE: UNE IMITATION

DE LA REPOUSSE NATURELLE DE LA FORÊT

L'exploitation de la parcelle après le brûlage se déroule en plusieurs phases, qui s'inspirent de la reconstitution progressive naturelle de la végétation forestière:

- Le paysan imite la colonisation herbeuse qui se produit aux premiers stades de la repousse spontanée, en ensemençant la terre avec des plantes herbacées. Par exemple: la canne à sucre, le maïs, le manioc, la patate douce, l'ananas, le haricot, le pois chiche, l'arachide, etc. Il commence dès ce stade à pratiquer l'élevage.
- Les premiers arbres à réapparaître naturellement sont des espèces supportant bien l'important ensoleillement de la zone à découvert. Le fermier met donc en place, entre ses cultures, des espèces de ce type: par exemple, de jeunes bananiers qui produiront rapidement des fruits, ou un type de palmier, le bactris, qui fournira des fruits de sa huitième à sa cinquantième année et dont les rejets donneront les «cœurs de palmiers».
- Grâce à la reconstitution progressive d'un couvert d'arbres, des cultures nécessitant un ombrage et des petits arbres qui poussent naturellement dans le sous-bois tropical (comme le cacaoyer), peuvent être mis en place.

Quand les arbres vieillissent et perdent leurs capacités productives, la parcelle est déboisée et le cycle peut recommencer sur place...

paysan n'est plus rapidement obligé de se déplacer et de détruire une nouvelle portion de forêt. Il peut vivre en autarcie, mais aussi obtenir des revenus du négoce. Une nette amélioration des conditions de vie des populations rurales, qui pourrait de plus réduire la pression exercée sur les forêts restantes!

Exploiter le bois tropical: d'accord, mais autrement!

L'industrie du bois tropical obéit actuellement à une seule préoccupation: couper le maximum d'arbres dans le moins de temps possible, pour en retirer à court terme un maximum de bénéfices. Peu importent la perte de biodiversité et les conséquences pour le sol (appauvrissement et érosion) - et donc les risques élevés d'empêcher la repousse de la forêt! Même lorsqu'il existe des restrictions relatives au prélèvement du bois, les services forestiers tropicaux souffrent de toute façon d'un tel manque de personnel et de moyens financiers, que les exploitants agissent à leur guise.

La sauvegarde des forêts n'exige pas la condamnation de toute exploitation du bois. Elle ne doit pas être vue comme un frein au développement socio-économique des populations locales et de leurs Etats. Bien au contraire! Toutefois, pour garantir un développement durable à ces populations, il s'agit de mettre en place une gestion de l'exploitation forestière digne de ce nom, c.-à-d. compatible avec la reconstitution de la forêt: abattages modérés et échelonnés sur une période de longue durée, plantation des arbres ayant du mal à repousser spontanément,

etc. La survie des forêts tropicales et la productivité à long terme de l'industrie du bois passent par là! Les consommateurs, et plus particulièrement ceux des riches pays du Nord, ont dès à présent un rôle important à jouer: gros acheteurs, il leur revient d'orienter la demande de bois dans le sens d'une exploitation durable. Ce terme recouvre plusieurs exigences: le respect de la faune et de la flore forestières, mais aussi la création d'emplois régionaux et une rentabilité financière à long terme.

Privilégier l'exploitation des produits non ligneux

Les forêts tropicales recèlent une multitude de produits autres que le bois (produits non ligneux), présentant un intérêt alimentaire, pharmacologique, industriel ou autre - fruits, graines, rotin, résine, gomme, cire, feuilles - qui se renouvellent très rapidement. Les récolter ne met dès lors pas en danger l'écosystème forestier. Les produits forestiers renouvelables sont actuellement utilisés de façon locale, pour l'essentiel. Mais mieux connus et mieux valorisés, ils pourraient connaître une demande importante et donc des débouchés significatifs sur les marchés internationaux.

Certains experts estiment que pour une surface de forêt identique, la valeur commerciale des produits non ligneux pourrait annuellement dépasser le profit obtenu par l'abattage massif des arbres. Or, la coupe du bois ne peut être renouvelée qu'après les nombreuses années nécessaires à la repousse des arbres - délai que n'exigera pas la récolte des produits non ligneux...

Dernière considération: à l'opposé de ce qui se passe pour le bois - aux mains des grandes firmes qui en tirent seules les profits -, les retombées économiques de l'exploitation des ressources non ligneuses pourraient bénéficier aux communautés locales chargées de leur récolte.

Désertification

La désertification est, par définition, la dégradation des terres dans les régions sèches (<600 mm de précipitations par an). Elle résulte aussi bien de variations climatiques extrêmes, que d'une utilisation inappropriée du sol par l'homme. La désertification n'a rien à voir avec l'avancée et le recul naturels des déserts existants. (Si les zones fertiles, limitrophes aux déserts, se transforment au bout de quelques années de sécheresse extrême, en plaines de sable, arides et stériles, elles ont toutefois de fortes chances de retrouver leur fertilité quand la pluie réapparaît). La désertification est plutôt comparable à une maladie de la peau. Ça et là, des morceaux

de sol desséchés apparaissent, parfois à des milliers de kilomètres des déserts les plus proches. Lentement mais sûrement, ces plaques s'étendent et finissent par se rejoindre, rendant la région désertique. Les caractéristiques écologiques de ces zones sont totalement différentes de celles des déserts naturels.

Environ un tiers de la surface totale des terres de la planète est formé de régions sèches, dont une partie importante se dégrade (voir tableau p.85). Etant donné que près d'un milliard d'habitants, parmi les plus pauvres du globe, vivent dans ces contrées, il ne s'agit plus d'une situation

marginale mais bien d'un problème écologique global! Il n'est d'ailleurs plus nécessaire de se rendre au Sahel ou dans le désert de Gobi pour assister à ce processus de désertification. Il suffit de rester en Europe! Quelques-unes des régions les plus touchées se trouvent en effet dans le sud de l'Espagne, de l'Italie, de la Grèce et du Portugal. La responsabilité de l'homme est considérable dans cette région où 60% du paysage est menacé et où, en certains endroits, le «désert» est déjà fermement installé.

Examinons les causes principales de la désertification.

LA DÉSSERTIFICATION EST UN PROBLÈME ÉCOLOGIQUE GRAVE. DES FACTEURS CLIMATIQUES, MAIS AUSSI DES INTERVENTIONS HUMAINES, LAISSENT LIBRE COURS À L'ÉROSION QUI DESSINE UN ÉTRANGE PAYSAGE MORCELÉ («BADLANDS») DANS LES ENVIRONS DE MURCIA, S.-E. DE L'ESPAGNE).



STATUT GÉNÉRAL DE LA DÉSSERTIFICATION DANS LES RÉGIONS SÈCHES AFFECTÉES À L'AGRICULTURE. DANS LE MONDE, 69% DE CES ZONES SONT PARTIELLEMENT OU INTÉGRALEMENT DÉSSERTIFIÉES/DÉGRADÉES, SOIT PRÈS DE 30% DE LA SURFACE TOTALE DES TERRES

CONTINENT	SUPERFICIE DÉSSERTIFIÉE	% DE SURFACE TOTALE RÉGIONS SÈCHES
Afrique	1.045 millions d'hectares	73 %
Asie	1.311 millions d'hectares	70 %
Australie	376 millions d'hectares	54 %
Europe	94 millions d'hectares	65 %
Amérique du Nord	428 millions d'hectares	74 %
Amérique du Sud	306 millions d'hectares	73 %
Total	3.562 millions d'hectares	69 %

SOURCE | DÉSSERTIFICATION CONTROL BULLETIN, N°20, 1991, PNUE

Causes de la désertification

Le climat

Le climat méditerranéen se caractérise par des étés torrides et des hivers plutôt humides. Les périodes hivernales de précipitations sont toutefois très irrégulières et intenses. De ce fait, la couche supérieure du sol est battue par les averses. Conséquence: les particules du sol sont comme arrachées, puis rapidement entraînées par l'eau qui ruisselle.

De plus, les pluies battantes compriment fortement la terre. Il se forme alors une croûte pratiquement imperméable, sur laquelle la pluie s'écoule encore plus facilement, d'où une érosion du sol dramatique. Pendant le long été brûlant, le sol se dessèche à l'excès. Les sels minéraux dissous dans l'eau qui imprégnait le sol, remontent à la surface avec l'eau qui s'évapore. Il se forme alors une croûte de sel dure, sur laquelle la végétation ne parvient plus à se développer. C'est précisément cette combinaison de pluies intenses

et de périodes de sécheresse récurrentes qui favorise la désertification. Les modèles climatiques prévoient des périodes de sécheresse plus longues, et des saisons des pluies moins humides. Les pluies se produiront de manière irrégulière, mais spectaculaires. Toutes les conditions propices à la désertification seront donc rassemblées.

Les activités humaines

L'homme habite - et donc modifie - la région méditerranéenne depuis des milliers d'années. Au monde, c'est l'un des paysages qui a le plus profondément été dégradé par les activités humaines. Il y a plus de 2.000 ans, Platon décrivait déjà la Grèce comme le squelette d'un corps miné par la maladie. Il évoquait le paysage tragiquement déboisé, et la maigre végétation des prairies. De ce fait, les inondations et les glissements de terrain étaient monnaie courante à l'époque. Certains ont même suggéré que la dégradation du sol avait joué un rôle important dans la décadence des grandes civilisa-

tions, longtemps prospères, du bassin méditerranéen. Ces peuples dégradèrent le sol à l'extrême, notamment en le déboisant (le bois était utilisé pour construire des navires), sans prendre aucune mesure pour préserver sa fertilité.

Dans la région méditerranéenne, le sol gagne environ 1 cm par siècle. Maltraitée, cette couche précieuse et très fine disparaît en quelques saisons, ne laissant derrière elle qu'une terre désertique et stérile.

Le sol méditerranéen assume donc un lourd héritage historique. Toutefois, c'est principalement au cours du XX^e siècle que le phénomène de désertification y a considérablement «progressé», en raison de la pression accrue exercée par les hommes et les animaux.

L'agriculture intensive

En raison de la pression démographique sans cesse croissante, ou pour des raisons économiques (commerce à l'exportation), le très fragile sol méditerranéen est intensivement sollicité. Cette situation

L'ÉROSION DE L'EAU DUE À DES PRATIQUES AGRICOLES INTENSIVES (MONOCULTURE D'AMANDIERS) CREUSE DES RIGILES (ET DES RAVINS) DANS LA COUCHE SUPÉRIEURE DU SOL.





À L'ARRIÈRE-PLAN, LA VÉGÉTATION MÉDITERRANÉENNE TYPIQUE («MATORRAL» OU GARRIGUE) RESTE NETTEMENT VISIBLE (ENVIRONS DE LORCA, S.-E. DE L'ESPAGNE).

s'accompagne entre autres d'une pollution du sol et des eaux, due à l'usage démesuré d'engrais et de pesticides, ainsi qu'au rejet de déchets. De plus, ce milieu vulnérable est agressé par de lourdes machines agricoles et les tentatives de pompage de l'eau du sol en quantités exagérées. Les pratiques agricoles intensives à grande échelle finissent par épuiser le sol et endommager sa structure particulièrement sensible. C'est alors que l'eau et le vent peuvent librement effectuer leur travail d'érosion sur les terres méditerranéennes.

Le surpâturage

Le processus de dégradation du sol peut être terriblement accéléré par l'élevage. Dans l'élevage traditionnel, les prés rasés disposaient de suffisamment de temps pour repousser. Le surpâturage par un nombre sans cesse croissant de têtes de bétail entraîne par contre une diminution continue de la végétation. Ce sont précisément les plantes qui aident à maintenir la structure du sol qui disparaissent, favorisant l'érosion par l'eau et le vent. En raison de la consommation élevée d'eau par le bétail, une détérioration du milieu a

même été constatée à certains endroits, dans un rayon de 5 à 20 km autour des puits.

Le déboisement

De vastes étendues de forêts sont déboisées par l'homme, pour être transformées en pâturages et en terres de culture. En outre, le

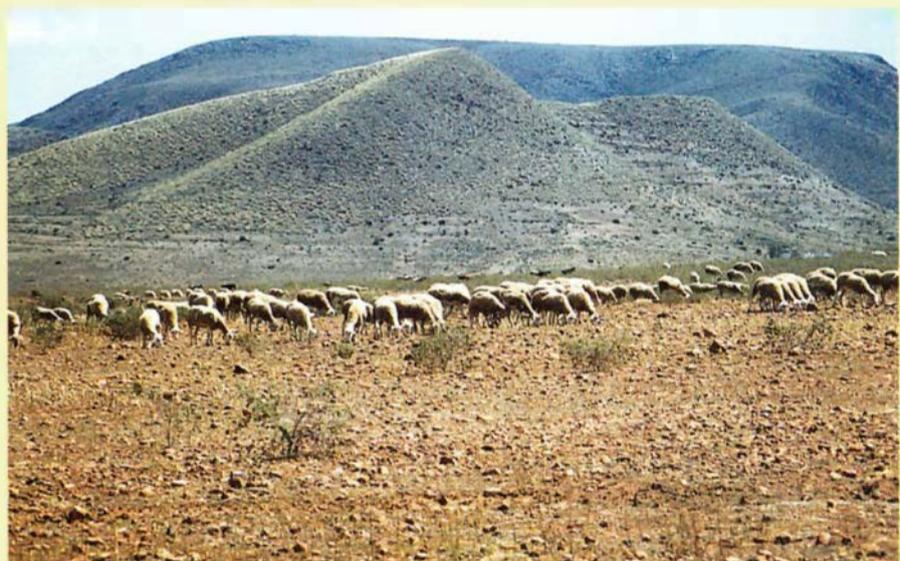
bois est intensivement utilisé comme combustible et matériau de construction. Les forêts ne couvrent désormais plus qu'à peine 5% de leur superficie initiale. Dans le bassin méditerranéen semi-aride, où la végétation est déjà maigre, les zones boisées jouent un rôle critique dans le maintien de la stabilité du sol. Les racines des arbres agglomèrent en effet les particules du sol pour lui donner une structure ferme. En abattant les arbres, l'homme laisse libre cours au vent et à la pluie, et le processus de désertification se met en marche. En cas d'averses abondantes, ce phénomène peut même donner lieu à des torrents de boue et à des glissements de terrain.

Outre l'abattage d'écosystèmes boisés entiers, les feux de forêt (tant naturels que provoqués par l'homme), exercent également une influence décisive. Certains rapports indiquent que le nombre de zones détruites par des incendies en Europe méridionale a doublé au cours des 15 dernières années. La recherche de plus en plus effrénée de zones touristiques ou urbaines, ainsi que de pâtures, est la cause de ce désastre.

L'irrigation

Dans les régions semi-arides vulnérables, il est primordial d'irriguer le sol sec pour assurer et améliorer le rendement de la récolte. Une mauvaise gestion du système d'irrigation dans les pays méditerranéens a déjà donné lieu à une salinisation substantielle des sols. La salinisation est le processus par lequel des sels s'accumulent en une croûte dure, dans la couche supérieure du sol. Lorsque l'eau d'irrigation pénètre dans la terre, elle dissout toutes les substances

À CAUSE DU SURPÂTURAGE (DES MOUTONS), LE SOL N'EST PLUS PROTÉGÉ CONTRE L'ACTION DE LA PLUIE ET DU DÉGOULINEMENT DE L'EAU. SA SURFACE SE DÉGRADE ALORS ET DEVIENT PIERREUSE (ENVIRONS D'ALMERIA, S.-E. DE L'ESPAGNE).





SURFACE DU SOL FORTEMENT SALINISÉE (TACHES BLANCHES) À CAUSE DE L'IRRIGATION (ENVIRONS D'ALMERIA, S.-E. DE L'ESPAGNE)

solubles dont les sels. Ensuite, quand le sol s'assèche, l'eau s'évapore et fait remonter les sels à la surface. Ils s'y agglomèrent et finissent par former une véritable croûte. Idéalement, le terrain devrait être drainé pour empêcher que l'eau puisse s'évaporer.

Le tourisme

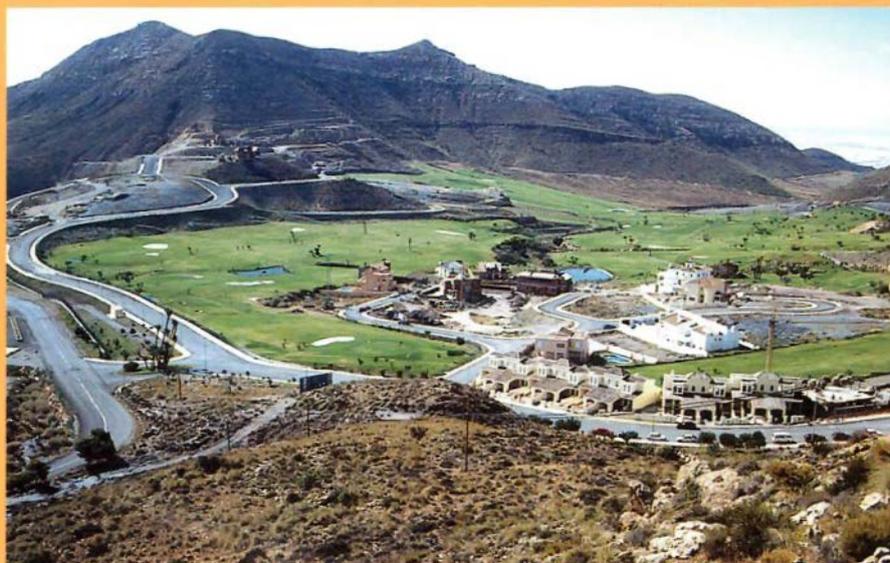
Vous les connaissez toutes: la Costa Blanca, la Costa Brava, la Côte d'Azur... Ces trente dernières années, une véritable nuée de touristes s'est abattue sur la Méditerranée. Cette vogue a eu un impact énorme et inévitable sur l'environnement, surtout en ce qui concerne la

disponibilité de l'eau et l'utilisation des terres. Les quantités invraisemblables d'eau (rare) consommées par le secteur touristique (hôtels, centres de sports et de loisirs, etc.) mettent sérieusement en péril l'alimentation en eau de l'agriculture. De plus, une bonne partie de la population locale quittant les fermes pour tenter sa chance dans le secteur touristique, plus lucratif, l'entretien des zones agricoles est négligé. Au bout d'un certain temps, l'érosion prend le dessus et les terres fertiles sont perdues à jamais.

La Convention sur la Lutte contre la Désertification

En 1977, l'ONU a mis à l'ordre du jour la question de la désertification, en tant que problème économique, social et écologique de dimension mondiale. Ses tra-

POUR L'ENTRETIEN DES TERRAINS DE GOLF DANS LES RÉGIONS TRÈS SÈCHES OÙ LA QUANTITÉ ANNUELLE DE PRÉCIPITATIONS EST LIMITÉE, UN VOLUME CONSIDÉRABLE D'EAU EST SOUSTRAIT À L'ENVIRONNEMENT QUI DE CE FAIT, SE DESSÈCHE TOUJOURS PLUS.



vaux ont donné lieu à un Plan d'Action sur la Lutte contre la Désertification, une série de directives et de recommandations destinées à aider les pays touchés à résoudre leurs problèmes. Mais après plus de dix ans, moins du quart des pays concernés étaient arrivés à dresser un plan national pour lutter contre la désertification. Sous la direction des pays africains, plusieurs voix s'élevèrent alors pour demander qu'une attention suffisante soit accordée à la désertification lors de la préparation du Sommet de la Terre qui devait se tenir à Rio, au Brésil, en 1992. Au cours de cette réunion, les grands de ce monde se mirent d'accord pour constituer un comité intergouvernemental de négociation, dans le but de préparer un instrument légal obligatoire. En 1994, la Convention sur la Lutte contre la Désertification fut enfin approuvée à Paris. Moins d'un an plus tard, 105 pays l'avaient déjà signée. Les pays signataires sont obligés de mettre en pratique les mesures prévues par une quarantaine d'articles.

Un des principes importants de cette convention insiste sur la nécessité d'une collaboration tant aux niveaux international, national et régional, qu'au niveau local. L'objectif final consiste à assurer, aujourd'hui et à l'avenir, une existence durable aux populations vivant dans les régions sèches. Point central de la convention: l'assistance à ces populations prévoit des programmes d'action minutieusement préparés, impliquant étroitement les communautés locales aux différents stades de la préparation, de l'exécution et de l'évaluation des résultats.



5 Antartique

Le trou dans la couche d'ozone

Ozone vient du mot grec «ozein» qui signifie «exhaler une odeur». Ce nom fait référence à l'odeur irritante de la molécule d'O₃, constituée de trois atomes d'oxygène. L'ozone est un gaz toxique. Mais il est présent en majeure partie dans une strate supérieure de l'atmosphère, sans contact direct avec l'homme. L'ozone est en fait une arme à double tranchant: d'une part, il peut menacer la santé humaine (lorsqu'il reste en suspension au niveau du sol); d'autre part, sa présence dans la haute atmosphère protège l'homme des rayons néfastes du soleil. Et pourtant, c'est toujours le même ozone: O₃. Dans le présent chapitre, nous traiterons du «bon» ozone protecteur, celui de la stratosphère. Dans cette couche supérieure de l'atmosphère, la quantité d'ozone diminue lentement mais sûrement, avec comme point culminant le trou annuel dans la couche d'ozone au-dessus du pôle Sud.

AU DÉBUT

Quand la vie est apparue sur Terre, il n'y avait encore ni oxygène, ni ozone dans l'atmosphère. Des êtres vivants microscopiques se développèrent au fond des océans, bien à l'abri des rayons UV nocifs du soleil. Certaines bactéries commencèrent alors à utiliser pour leur métabolisme, de l'eau et du dioxyde de carbone dissout dans l'eau, en se servant de l'énergie solaire. Ce processus photosynthétique s'accompagna de la production d'oxygène – un gaz initialement toxique, mortel. La quantité d'oxygène augmenta peu à peu, de même que la quantité d'ozone qui protégea ainsi la Terre du rayonnement ultraviolet mortel du Soleil. La vie put alors se développer dans les zones moins profondes des océans, et finit par coloniser les terres.



La couche d'ozone

L'atmosphère

L'atmosphère est divisée en différentes strates. Dans la troposphère, qui s'étend du niveau du sol à environ 12 km d'altitude, la température de l'air baisse quand l'altitude augmente. La plupart des activités humaines s'y déroulent. Dans la stratosphère, la couche située entre le dessus de la troposphère et quelque 50 km d'altitude, la température augmente avec l'élévation d'altitude. La zone qui sépare ces deux premières couches est appelée tropopause. Dans les 40 km suivants (la mésosphère), la température descend à nouveau quand l'altitude augmente. Enfin, dans la thermosphère (d'une épaisseur de quelques centaines de km), la température grimpe fortement avec l'altitude et dépasse même les 1.000°C. L'air y est cependant si raréfié que la température n'y a plus beaucoup de signification. La plus grande partie de l'ozone (environ 90% de tout l'ozone atmosphérique) se trouve dans la stratosphère. Les concentrations les plus élevées se situent en gros entre 15 et 40 km d'altitude, dans ce qui s'appelle - en toute logique - la couche d'ozone. Ce n'est néanmoins pas une véritable couche uniquement formée de molécules d'ozone. Au contraire, pour un million de molécules d'air, on n'y trouve que cinq molécules d'ozone. C'est tout de même cent fois plus que dans la troposphère!

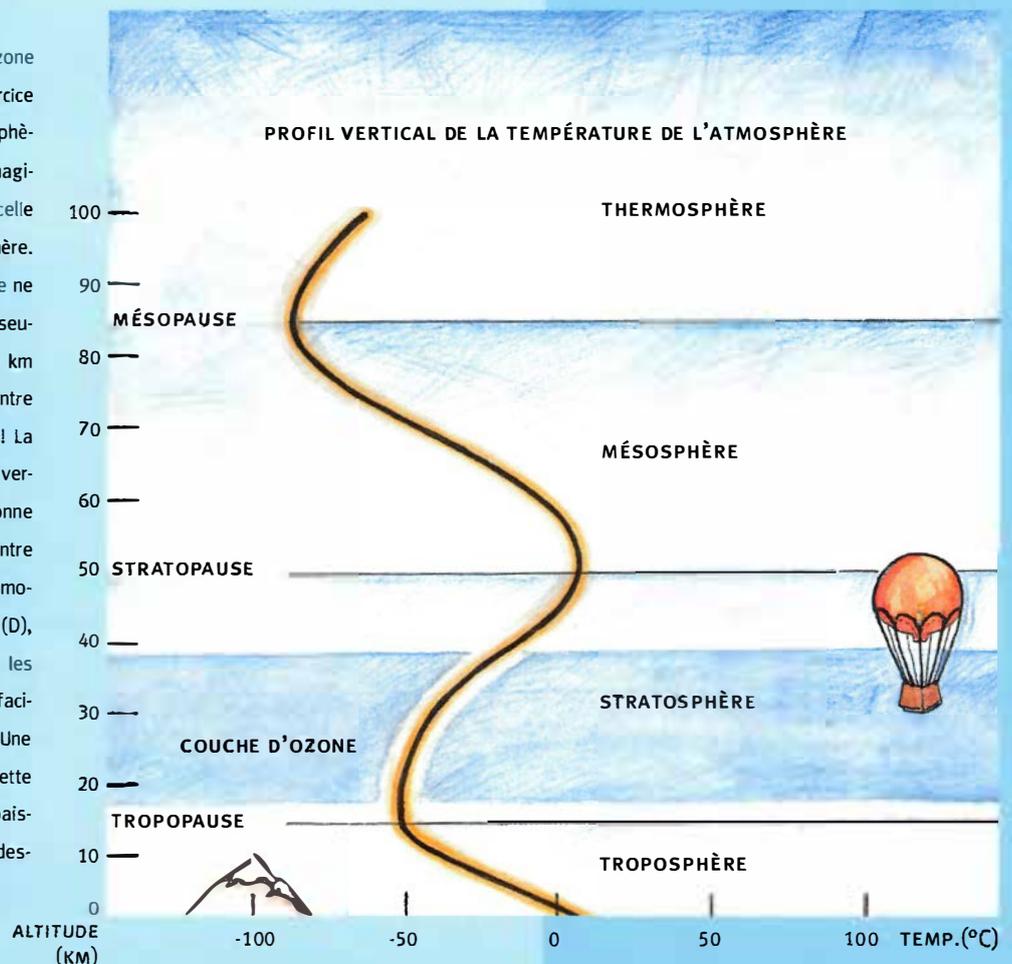
QUELQUES MILLIMÈTRES D'OZONE

Pour avoir une idée de la quantité totale d'ozone dans l'atmosphère, il suffit d'effectuer l'exercice mental suivant. Prenons la totalité de l'atmosphère (du sol, aux régions les plus hautes) et imaginons que celle-ci soit à la même pression que celle qui règne au niveau du sol, soit 1 atmosphère. Ainsi comprimée, l'épaisseur de l'atmosphère ne serait pas de plusieurs centaines de km, mais seulement de 8 km: 6 km d'azote et environ 2 km d'oxygène. Notre couche d'ozone vital par contre n'aurait qu'à peine 2,5 à 5 mm d'épaisseur! La quantité d'ozone contenue dans une colonne verticale placée au-dessus de nos têtes (la colonne d'ozone, à savoir la quantité d'ozone située entre la surface de la Terre et le «sommets» de l'atmosphère) est exprimée en unités Dobson (D), d'après le savant anglais qui conçut dans les années 20 un instrument capable de mesurer facilement la quantité totale d'ozone dans l'air. Une unité Dobson correspond à 1/100 mm de cette couche d'ozone qui mesure de 2,5 à 5 mm d'épaisseur. La quantité d'ozone que nous avons au-dessus de nous varie donc entre 250 et 500 D.

PROBLÈMES D'OZONE DANS LA TROPOSPHÈRE ET LA STRATOSPHERE

A cause des activités humaines, la quantité d'ozone troposphérique a augmenté, tandis que celle d'ozone stratosphérique a diminué. Ces deux phénomènes ont toutefois des causes totalement différentes, leur seul point commun étant l'homme. Le premier résulte du rejet d'hydrocarbures et de dioxydes de carbone provenant notamment du trafic routier et de l'industrie, le second de l'émission (entre autres) de CFC.

LE PROFIL VERTICAL DES TEMPÉRATURES PERMET DE SUBDIVISER L'ATMOSPHÈRE EN DIFFÉRENTES COUCHES: LA TROPOSPHÈRE (0-15 KM), LA STRATOSPHERE (15-50 KM), LA MÉSPHÈRE (50-85 KM) ET LA THERMOSPHERE. LA COUCHE D'OZONE SE SITUE ENTRE 15 ET 40 KM D'ALTITUDE.



Antarctique :
le trou dans la couche d'ozone

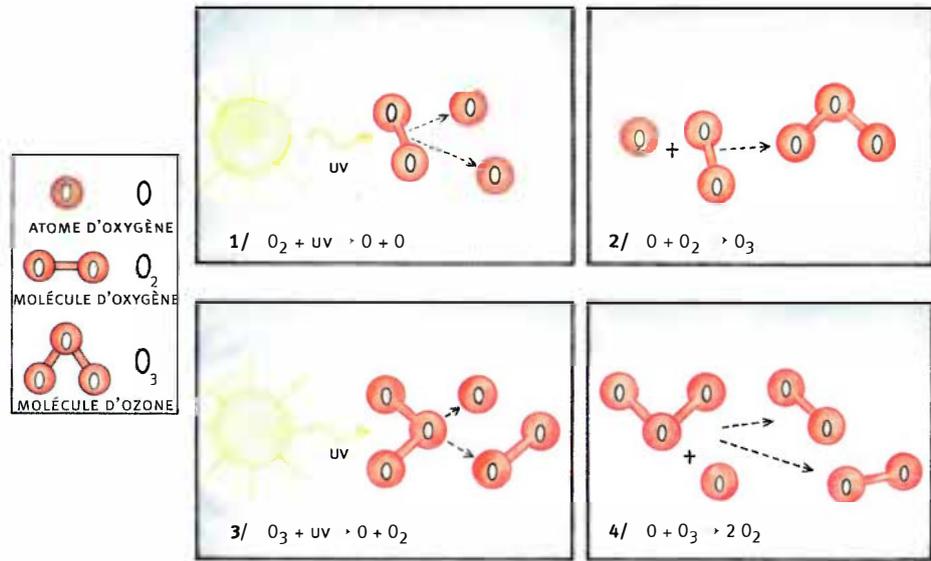
L'ozone. Quoi, où et comment?

Pourquoi la couche d'ozone se situe-t-elle précisément entre 15 et 40 km d'altitude? Est-ce un pur hasard? Rien n'est dû au hasard dans la nature. L'emplacement de la couche d'ozone est en rapport avec les processus responsables de sa formation et de sa décomposition, comme indiqué dans la figure ci-contre. Les deux rôles principaux sont attribués à l'oxygène (O_2) et aux rayons UV. D'un côté, dans la partie basse de l'atmosphère, il n'y a pas assez de lumière UV disponible (en raison de son absorption continue par l'atmosphère) pour dissocier suffisamment de molécules d'oxygène en atomes d'oxygène. D'un autre côté, dans la partie supérieure de l'atmosphère, il y a trop peu de molécules d'oxygène pour reformer ces mêmes atomes d'oxygène. Entre les deux, à une altitude bien déterminée, les stocks d'oxygène et de rayonnement UV suffisent pour que la production d'ozone atteigne sa valeur maximale. C'est la «couche d'ozone» de la stratosphère qui peut être observée expérimentalement (figure p.91).

Variations de l'ozone stratosphérique

Bien que l'ozone se forme à tout moment et sous toutes les latitudes, la majeure partie de sa production se déroule dans la stratosphère au-dessus de l'équateur. C'est en effet là que l'intensité de la lumière solaire incidente est la plus forte. Malgré cela, il s'avère que l'épaisseur de la couche d'ozone atteint son minimum à cet

endroit et son maximum au-dessus des pôles! Cette différence est due aux déplacements d'air au niveau planétaire. Au-dessus de l'équateur torride, les masses d'air très chaud montent lentement de la troposphère, vers la stratosphère. Les masses d'air équatoriales, riches en ozone, sont de ce fait poussées vers les pôles (pôle Sud au printemps et pôle Nord en

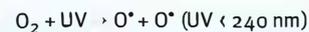


FORMATION ET DÉCOMPOSITION DE L'OZONE.

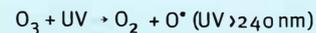
L'ozone se forme en deux étapes. Durant la première, une molécule d'oxygène (O_2) est dissociée par le rayonnement ultraviolet (UV) en deux atomes d'oxygène hyperactifs ($2O^*$). Au cours de la seconde étape, un atome d'oxygène (O^*) se combine avec une molécule d'oxygène (O_2), pour former de l'ozone (O_3). La disparition de l'ozone peut résulter de deux processus différents. D'une part, le rayonnement UV du Soleil peut scinder la molécule d'ozone (O_3) en un atome d'oxygène (O^*) et une molécule d'oxygène (O_2). D'autre part, un atome d'oxygène (O^*) peut s'attaquer à une molécule d'ozone (O_3) pour former deux molécules d'oxygène ($2O_2$). C'est le savant anglais S. Chapman qui développa en 1930 la première

théorie photochimique relative à l'ozone stratosphérique, fondée sur les quatre réactions de base suivantes:

Formation:



Décomposition:



O^ est un atome d'oxygène ayant un nombre impair d'électrons, qui possède donc un électron non apparié, ce qui rend la particule très active. Le signe «*» dans O^* indique la présence de cet électron non apparié. Le nom scientifique de O^* est radical oxygène.*

REPRÉSENTATION SIMPLIFIÉE DES PROCESSUS NATURELS DE FORMATION ET DE DESTRUCTION DE L'OZONE DANS LA STRATOSPHERE.

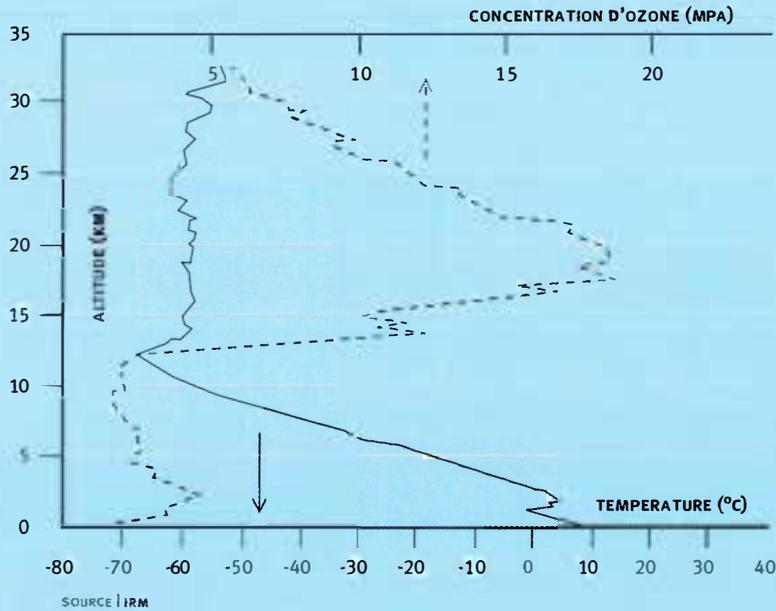
- 1 LES RAYONS UV DU SOLEIL SCINDENT UNE MOLÉCULE D'OXYGÈNE EN ATOMES D'OXYGÈNE.
- 2 RÉACTION ENTRE UN ATOME D'OXYGÈNE ET UNE MOLÉCULE D'OXYGÈNE, FORMANT UNE MOLÉCULE D'OZONE.
- 3 LES RAYONS UV DU SOLEIL SCINDENT L'OZONE EN UN ATOME D'OXYGÈNE ET UNE MOLÉCULE D'OXYGÈNE.
- 4 RÉACTION ENTRE UN ATOME D'OXYGÈNE ET UNE MOLÉCULE D'OXYGÈNE.

automne) par la circulation générale de l'air stratosphérique. D'où les faibles concentrations d'ozone au-dessus de l'équateur, et les concentrations plus élevées vers les pôles (comme chez nous). La colonne d'ozone stratosphérique la plus remplie se situe au-dessus du pôle Nord au printemps (450-500 unités Dobson

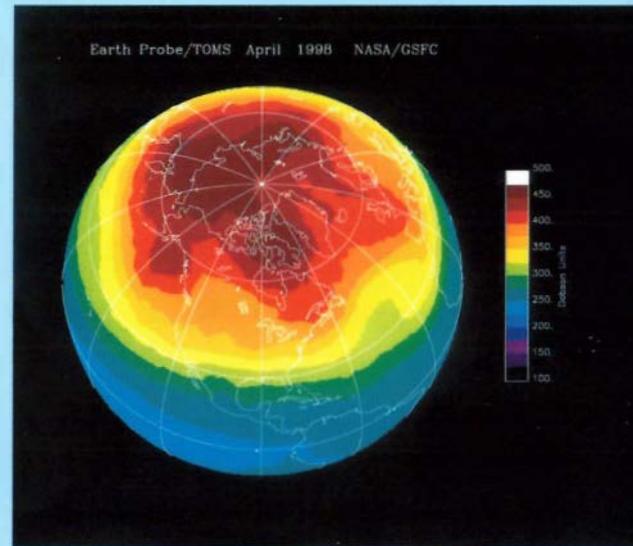
ou D), alors qu'en automne, elle y est plutôt réduite (280 D).

La colonne d'ozone la moins épaisse se trouve au-dessus de l'équateur (250 D), avec des variations saisonnières négligeables. Au-dessus d'Uccle, la quantité moyenne d'ozone fluctue entre 400 D (4 mm) en mars-avril et 300 D (3 mm) en octobre-novembre.

PROFIL DE L'OZONE OBSERVÉ EXPÉRIMENTALEMENT À L'IRM, À L'AIDE D'UNE SONDE. AU-DESSUS DE LA BELGIQUE, LA COUCHE D'OZONE SE SITUE À UNE ALTITUDE ALLANT DE 15 À 30 KM, AVEC UN MAXIMUM AUTOUR DE 20 KM. LA SÉPARATION ENTRE LA TROPOSPHÈRE ET LA STRATOSPHERE SE DISTINGUE NETTEMENT, TANT DANS LE PROFIL DE LA TEMPÉRATURE QUE DANS CELUI DE L'OZONE.



COLONNE D'OZONE AU-DESSUS DE L'HÉMISPHERE NORD EN AVRIL 1998. LA QUANTITÉ D'OZONE ATTEINT SON NIVEAU MAXIMAL AU-DESSUS DU PÔLE NORD ET BAISSE PROGRESSIVEMENT VERS L'ÉQUATEUR (IMAGE DU SATELLITE TOMS).



QUANTITÉ D'OZONE RÉELLE

Pour mesurer la concentration d'un gaz dans la haute atmosphère, il existe différentes méthodes: mesures au niveau du sol, mesures par satellite et mesures par ballon.

Du fait que l'ozone absorbe les rayons UV du Soleil, la quantité d'UV atteignant la surface de la Terre dépend de la quantité d'ozone présent dans l'air. Plus il y a de l'ozone dans l'atmosphère, moins il y a de rayons UV qui touchent le sol. Moyennant un choix approprié de quelques longueurs d'onde («couleurs») absorbées par l'ozone, le mesurage de la quantité de rayons UV au sol permet de calculer assez simplement la colonne d'ozone totale. La plupart des instruments de mesure sont basés sur ce principe, ceux de Dobson et de Brewer (automatisé) étant les plus

couramment utilisés. Dans le monde entier, un réseau de géostations mesurent la colonne d'ozone en une centaine d'endroits, ce qui permet d'enregistrer les variations régionales de la couche d'ozone. Etant donné toutefois que 70% de la surface de la Terre sont occupés par les océans, très peu de données relatives à l'ozone sont disponibles en ces endroits.

Un satellite effectue l'opération inverse et mesure, de haut en bas, la quantité d'UV dispersée ou réfléchi par l'atmosphère. Ces mesures présentent l'énorme avantage de pouvoir être effectuées très fréquemment (toutes les 8 secondes, par ex.) et permettent donc d'obtenir une image détaillée de la répartition moyenne de l'épaisseur de la couche d'ozone sur toute la surface du globe. Ce fut la NASA qui effectua les premières mesures

par satellite. Au départ, un Total Ozone Mapping Spectrometer (en abrégé, TOMS), se trouvait à bord du satellite Nimbus-7, lancé en novembre 1978. Jusqu'en 1992, ce spectromètre fonctionna parfaitement. Mais par la suite, il posa problème. Ce ne fut pas trop grave, car depuis 1991, le satellite russe Meteor-3 contenait lui aussi un TOMS. Mais celui-ci tomba également en panne en décembre 1994. Toutefois, ces deux spectromètres ont permis conjointement d'envoyer des mesures journalières entre novembre 1978 et décembre 1994. Il y eut une brève interruption de mesures d'un an et demi. Mais, depuis juillet 1996, un nouveau TOMS tourne autour de la Terre, à bord du satellite Earth Probe qui se trouve à 500 km d'altitude. Celui-ci nous transmet quotidiennement des images de la couche d'ozone.

Depuis quelques années déjà, l'Europe aussi se charge de mesures par satellites. C'est le 24 avril 1995 que fut lancé le satellite ERS-2 de l'ESA (European Space Agency), emportant avec lui un instrument baptisé GOME (Global Ozone Monitoring Experiment). Cet instrument, qui se trouve à 780 km d'altitude et fait le tour de la Terre en une demi-heure, nous transmet tous les trois jours la répartition globale de l'ozone sous forme de carte. Le GOME n'est toutefois que le précurseur d'un instrument de mesure plus sophistiqué. L'ESA projette en effet d'envoyer vers la mi-99 le satellite Envisat-1, qui emmènera un instrument dénommé SCIAMACHY destiné à fournir des

mesures plus pointues de la troposphère et de la stratosphère.

S'il est donc possible de connaître la quantité totale de l'ozone en suspension dans l'air, cela ne nous donne toujours aucune indication au sujet de l'endroit précis où cet ozone se trouve. Nous avons déjà souligné que 90% de la quantité totale d'ozone se situe au niveau de la stratosphère. Or, lorsqu'une variation sensible de la colonne d'ozone intervient, il est important de savoir avec exactitude où ce changement se produit. Les mesures par ballon fournissent une solution à ce problème. Une sonde fixée à un ballon récolte de l'air à l'aide d'une mini-pompe, pendant qu'un détecteur mesure sur place la concentration d'ozone. Les signaux sont directement transmis à

la station d'observation au sol, par l'intermédiaire d'un petit émetteur. Le ballon traverse les différentes couches d'air, jusqu'à une altitude d'environ 35 km, où il éclate avant de plonger vers la Terre. La concentration d'ozone est mesurée également pendant la descente. C'est en 1969 que l'Institut royal météorologique (IRM) installé à Uccle a commencé à procéder à des mesures par ballon-sonde trois fois par semaine. La série de sondages dont il dispose depuis lors est l'une des plus longues et des plus complètes du monde! Certaines observations par satellite permettent également de déduire la répartition verticale de l'ozone. A l'avenir, elles occuperont très vraisemblablement une place toujours plus importante dans l'observation de la couche d'ozone.

LE SATELLITE EARTH PROBE ÉQUIPÉ D'UN TOMS, TOURNE AUTOUR DE LA TERRE À 500 KM D'ALTITUDE ET FOURNIT QUOTIDIENNEMENT DES IMAGES DE LA COUCHE D'OZONE.

Mort de l'ozone

Nous savons désormais que l'ozone se forme et se décompose naturellement, de sorte qu'un équilibre dynamique naturel se crée. On a longtemps pensé que le processus s'arrêtait là. Mais peu à peu, il devint évident que d'autres gaz à l'état de traces dans l'atmosphère intervenaient dans ce cycle de l'ozone. Parmi eux: l'oxyde d'azote (NO), les particules OH* (radical hydroxyle) et Cl* (radical chlore). A première vue, tous trois - représentons-les pour plus de facilité par X* - réagissent bizarrement avec l'ozone. Chaque X* parvient en effet à détruire imperturbablement des dizaines de milliers de molécules d'ozone, sans pour autant disparaître. Le X* joue en fait un rôle de cata-

lyseur! Heureusement, ces X* finissent tôt ou tard par se heurter à d'autres molécules, pour former des «molécules réservoirs» inoffensives et non-réactives. Le «jeu» est alors provisoirement terminé.

En outre, ces X* ne sont naturellement présents dans l'atmosphère qu'en quantités infimes, de sorte qu'il ne faudrait pas se faire trop de soucis... si l'homme n'y ajoutait son «grain de sel». Les avions supersoniques volant à haute altitude (15 km) rejettent du NO (un des X*) lors de la combustion de leur carburant. Des études ont néanmoins prouvé que leurs effets sur la couche d'ozone sont relativement insignifiants. Les gaz d'échappement des fusées contiennent d'énormes quantités de HCl (un autre X*), mais ne provoquent pas non plus une destruction dramatique de l'ozone. En les soupçonnant, les chercheurs ont néanmoins pu découvrir le rôle joué par les Cl* dans la destruction de l'ozone. En

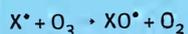
fait, ce sont les chlorofluorocarbones (CFC), également appelés fréons, qui sont les principaux responsables de la destruction de la couche d'ozone. Cette idée avait déjà été émise en 1974, par Mario Molina et Sherwood Rowland de l'Université de Californie. Ces scientifiques avaient calculé qu'avec la quantité de CFC émis par l'homme, l'ozone serait en grande partie détruit en quelques décennies. Leurs prévisions furent confirmées par la découverte, en 1985, du trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique. En 1995, ils reçurent le prix Nobel de chimie, avec le professeur Paul J. Crutzen (un chercheur du Max Planck Institut für Chemie de Mainz).

La folie des CFC

Il y a dix ans, la production annuelle de CFC dans le monde tournait autour de million de tonnes! On pourrait se deman-

RÔLE DES X°

Si, pour simplifier, nous représentons le NO, l'OH° et le Cl° par X°, voici ce qui se passe:



Nous voyons donc que X° est capable de détruire l'ozone, en réagissant de la même façon que O° lors de cette dissociation. Mais ce n'est malheureusement pas tout.

Ces machiavéliques X° réagissent en effet assez facilement avec les O° libérés lors de la décomposition photochimique de l'ozone ($O_3 + UV \rightarrow O_2 + O^\circ$), de la façon suivante:



Conséquence de cette réaction: X° réapparaît. Ce qui signifie que chaque X° est capable de détruire une molécule d'ozone, tout en réapparaissant ensuite sous la même forme. Chaque X° fait donc office de catalyseur et parvient à engloutir à lui seul des dizaines, voire des centaines de milliers de molécules d'ozone sans disparaître!

Les X° ne sont pas pour autant éternels. En se heurtant par exemple à du NO₂, ils reforment des molécules réservoirs non-réactives (ClONO₂ ou HCl par ex.)

LES CFC FURENT ABONDAMMENT UTILISÉS À DES TATS DE FINS: BOMBES AÉROSOL, RÉFRIGÉRATEURS, SYSTÈMES DE CONDITIONNEMENT D'AIR... LENTEMENT, LES CFC SE LIBÈRENT DE CE CIMETIÈRE DE RÉFRIGÉRATEURS...

LANCEMENT D'UN BALLON-SONDE, COMME CELUI AUQUEL PROCÈDE L'IRM D'UCCLE TROIS FOIS PAR SEMAINE, DEPUIS 1969.

der pourquoi de telles quantités étaient produites. La réponse est simple. Les propriétés techniques des CFC sont tellement intéressantes, que ces substances furent considérées comme étant les plus appropriées pour des centaines d'usages. Les fréons sont en effet ininflammables, non-toxiques, non-réactifs (inertes), non-corrosifs, insolubles dans l'eau, incolores, inodores et faciles à produire à peu de frais... Les CFC furent ainsi employés comme gaz propulseurs dans les bombes aérosol, comme fluides réfrigérants dans les réfrigérateurs et les climatiseurs, et comme solvants. Ils furent utilisés comme agents nettoyants dans l'industrie métallurgique, pour enlever l'huile de coupe. Au cours de l'ère du fast-food, ils servirent abondamment d'agents gonflants pour les mousses destinées aux tasses en polystyrène et aux emballages pour hamburgers. Dans le secteur médical, ils servirent d'anesthésiants et furent utilisés dans la production des pacemakers.

Les premiers CFC, à savoir le CFC 11 (CFC₁₁) et le CFC 12 (CF₂Cl₂), furent produits dans les années 30 et utilisés comme produits réfrigérants. A cette époque, un ingénieur démontra, au cours d'une réunion du Cercle de Chimie américain, que les CFC n'étaient ni toxiques ni inflammables, en aspirant du CFC 12 avant de souffler une bougie! Ce ne fut que dans les années 60 que la production



de CFC atteint véritablement sa vitesse de croisière, le nombre d'applications grim pant en flèche. Près de 75% des CFC produits étaient alors des CFC 11 et 12. Mais rien ni personne n'est parfait. Et c'est justement la stabilité légendaire des fréons qui finit par nous poser problème. C'est précisément parce qu'ils sont inertes et insolubles dans l'eau, qu'ils ne sont pas emportés par la pluie et qu'ils restent en suspension dans la troposphère pendant de longues années. La circulation des vents remuant perpétuellement l'atmosphère, les CFC atteignent finalement la stratosphère. Une fois arrivés, ils y sont dégradés par le rayonnement ultraviolet intense et donnent naissance à des radicaux chlore (Cl°), un des X°! Chaque molécule de CFC est susceptible de détruire des dizaines de milliers de molécules d'ozone au cours d'un cycle catalytique. C'est ainsi que les CFC 11, 12 et 113 (C₂F₃Cl₃) sont solidairement responsables, à concurrence de plus de 80%, de la destruction de l'ozone.



Les fréons chlorés ne sont pas les seuls à attaquer la couche d'ozone. Les composés organiques bromés ont le même effet. Les halons (bromofluorocarbones), par exemple, comme le halon 1211 (CF₂BrCl) ou le halon 1301 (CBrF₃), sont principalement utilisés comme gaz dans les extincteurs, tandis que le bromure de méthyle est un très bon désinfectant du sol. Un radical brome dissocié (Br* = X*) est des dizaines de fois plus glouton encore qu'un radical chlore.

Il ne faut cependant pas oublier que la nature aussi produit des composés chlorés et bromés qui se retrouvent dans l'atmosphère - quoiqu'en quantités nettement inférieures, à celles que l'homme y envoie. Les volcans, par exemple, peuvent en peu de temps cracher directement dans la stratosphère d'énormes quantités de composés chlorés (principalement du HCl). Par ailleurs, les algues marines pro-

LA DURÉE DE VIE D'UN CFC

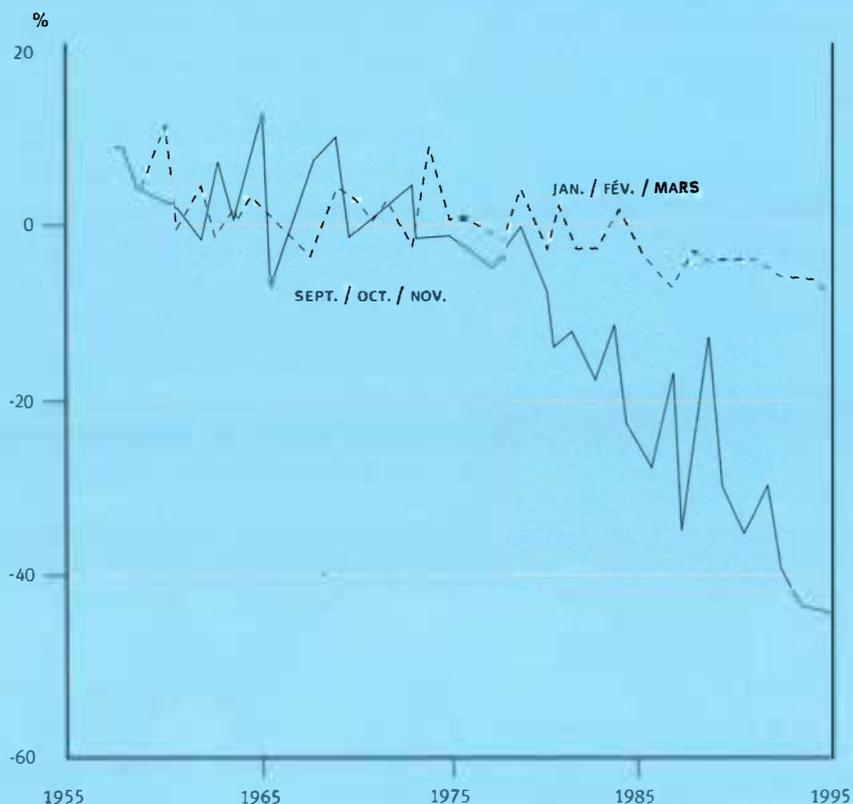
Une molécule de CFC «vit» en moyenne 100 ans. Il faut entendre par là le temps qui s'écoule entre son émission et sa disparition de l'atmosphère. Une molécule de CFC met en moyenne 10 ans pour quitter la troposphère et pénétrer dans la stratosphère, où elle reste active des dizaines d'années. Ce qui signifie que chaque molécule de CFC libérée aujourd'hui n'atteindra la stratosphère que vers 2010, et ne cessera d'y détruire l'ozone qu'à la fin du XXI^e siècle! C'est pourquoi la grande offensive de ces molécules reste à venir (voir plus loin «Le Protocole de Montréal»).

Par ailleurs, tous les destructeurs d'ozone n'ont pas la même efficacité. Ainsi, le halon 1301 détruit quinze fois plus d'ozone que les CFC 11 et 12!

« DURÉE DE VIE » DANS L'ATMOSPHÈRE DE QUELQUES DESTRUCTEURS D'OZONE

SUBSTANCE	PRINCIPALES APPLICATIONS	DURÉE DE VIE DANS L'ATMOSPHÈRE
CFC 11	Gaz propulseur, instal. réfrigérantes, mousse plastique	60 ans
CFC 12	Gaz propulseur, instal. réfrigérantes, mousse plastique	120 ans
CFC 113	Mousse plastique, nettoyant	100 ans
CFC 114	Installations réfrigérantes, mousse plastique	250 ans
CFC 115	Installations réfrigérantes	600 ans
Halon 1211	Extincteurs	15 ans
Halon 1301	Extincteurs	80 ans
HCFC 22	Installations réfrigérantes, mousse plastique	15 ans
Bromure de méthyle	Désinfection du sol	1,5 ans

ÉCART SAISONNIER PAR RAPPORT À LA COLONNE D'OZONE MOYENNE, CALCULÉ POUR LA PÉRIODE 1957-1978 (LA PÉRIODE AVANT L'APPARITION DU TROU DANS LA COUCHE D'OZONE) AU-DESSUS DE L'ANTARCTIQUE. LA BAISSÉ EST NETTEMENT PLUS FORTE PENDANT LA PÉRIODE SEPTEMBRE-NOVEMBRE QUE PENDANT LA PÉRIODE JANVIER-MARS.



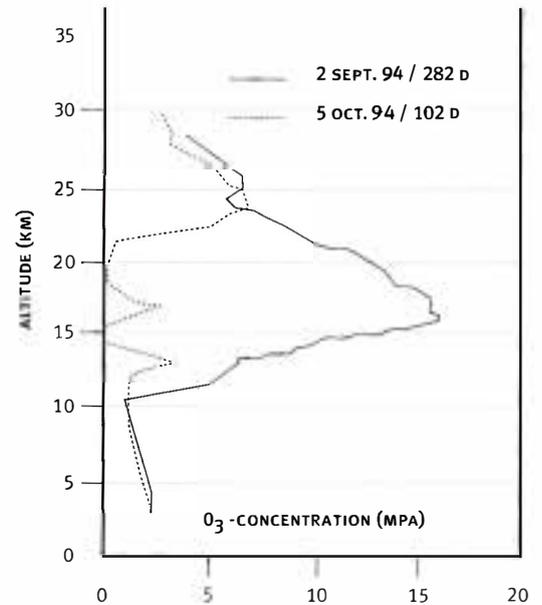
SOURCE | WMO/UNEP

duisent en permanence du CH_3Cl . Certains organismes vivant dans les océans produisent en outre de grandes quantités de bromure de méthyle (CH_3Br) qui, selon les estimations, égalaient celles émises par les hommes. La responsabilité des CFC émis par l'homme semble pourtant prouvée par le fait que dans les années 90, la concentration de chlore dans l'atmosphère était déjà six fois plus élevée que la concentration naturelle!

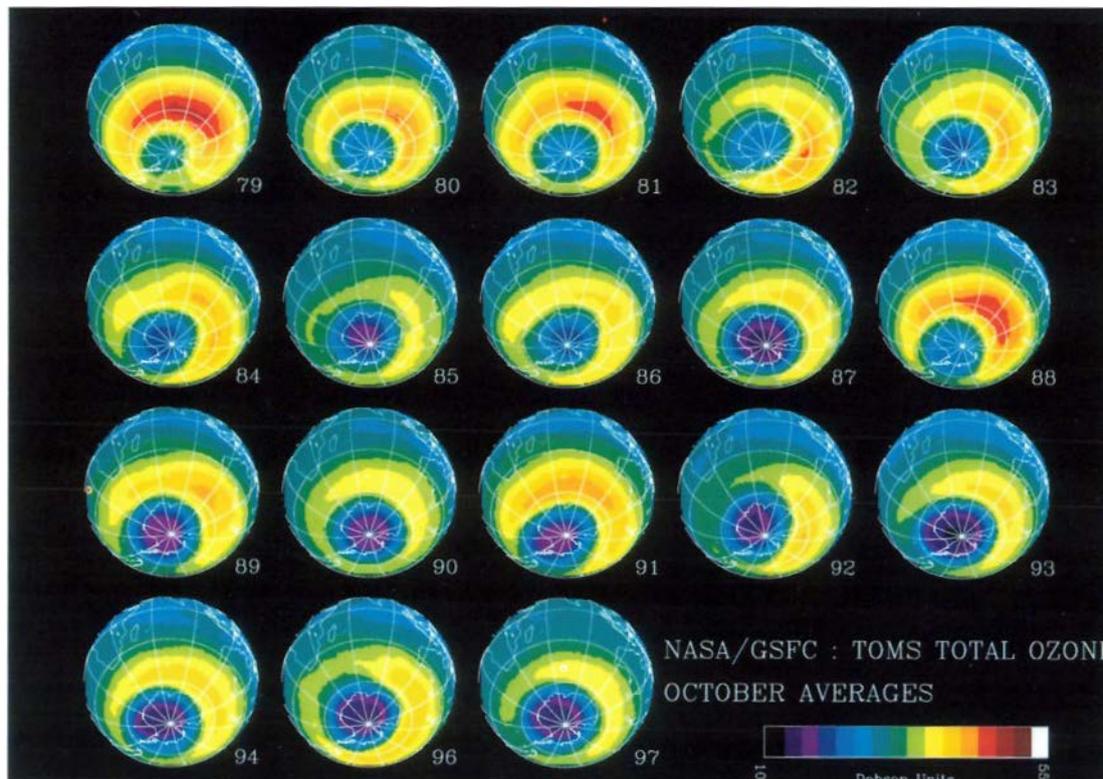
Le trou dans la couche d'ozone au-dessus du pôle Sud

Depuis 1957, des observations relatives à l'ozone sont effectuées dans la station britannique de Halley Bay, installée au pôle Sud. Même si, dès 1979, une lente diminution de la concentration d'ozone au-dessus de l'Antarctique avait été constatée durant les mois d'octobre, il fallut attendre 1985 pour que les Britanniques fassent

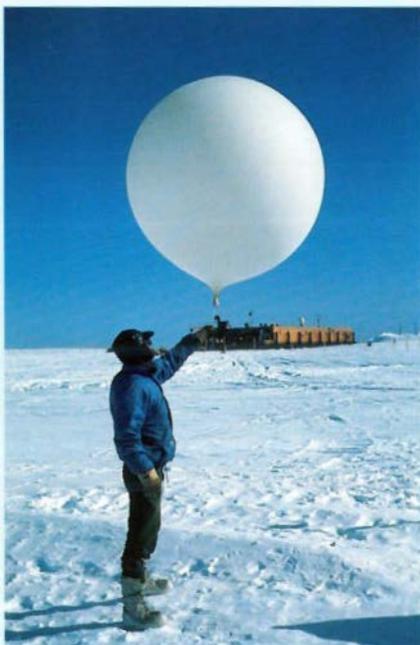
connaître ce message au monde entier. Cette année-là, au-dessus de leur station, la colonne d'ozone dégringola de 65% en six semaines de temps, au début du printemps austral (notre automne). Cette chute de la concentration eut surtout lieu au niveau de la basse stratosphère (entre 13 et 22 km), où la majeure partie de l'ozone disparut carrément. Le terme courant de «trou dans la couche d'ozone» se réfère donc à ce phénomène de destruction exceptionnelle de l'ozone. (Certains scientifiques ne parlent de «trou» qu'à partir du moment où la colonne d'ozone descend en dessous des 220 D, une valeur qui n'avait jamais été enregistrée avant 1980). La couche d'ozone n'est donc pas véritablement «trouée», ce sont les concentrations d'ozone qui s'amenuisent



RÉPARTITION VERTICALE DE L'OZONE AU-DESSUS DE L'ANTARCTIQUE, AVANT L'APPARITION DU TROU DANS LA COUCHE D'OZONE (A) (2 SEPTEMBRE 1994) ET AU MOMENT OÙ LA CONCENTRATION MINIMALE EST ATTEINTE (B) (5 OCTOBRE 1994). ENTRE 13 ET 20 KM D'ALTITUDE, IL NE RESTE QU'ASI PLUS D'OZONE.



ÉVOLUTION DE LA COUCHE D'OZONE AU-DESSUS DE L'ANTARCTIQUE EN OCTOBRE, ENTRE 1979 ET 1997. CES IMAGES PRISES PAR SATELLITE INDICENT CLAIREMENT QUE DEPUIS LA FIN DES ANNÉES 80, LA COLONNE D'OZONE A TRÈS RÉGULIÈREMENT CHUTÉ EN DESSOUS DE 150 D (VIOLET FONCÉ), SOIT MOINS DE LA MOITIÉ DE LA QUANTITÉ MESURÉE AVANT 1980. LE TROU DANS LA COUCHE D'OZONE S'ÉTEND AU-DESSUS DE TOUT LE PÔLE SUD.



DES SCIENTIFIQUES EFFECTUENT UNE MULTITUDE D'EXPÉRIENCES (AVEC BALLONS-SONDES, NOTAMMENT) DANS L'ANTARCTIQUE. A L'ARRIÈRE-PLAN, LA BASE BRITANNIQUE DE HALLEY BAY, AU PÔLE SUD.

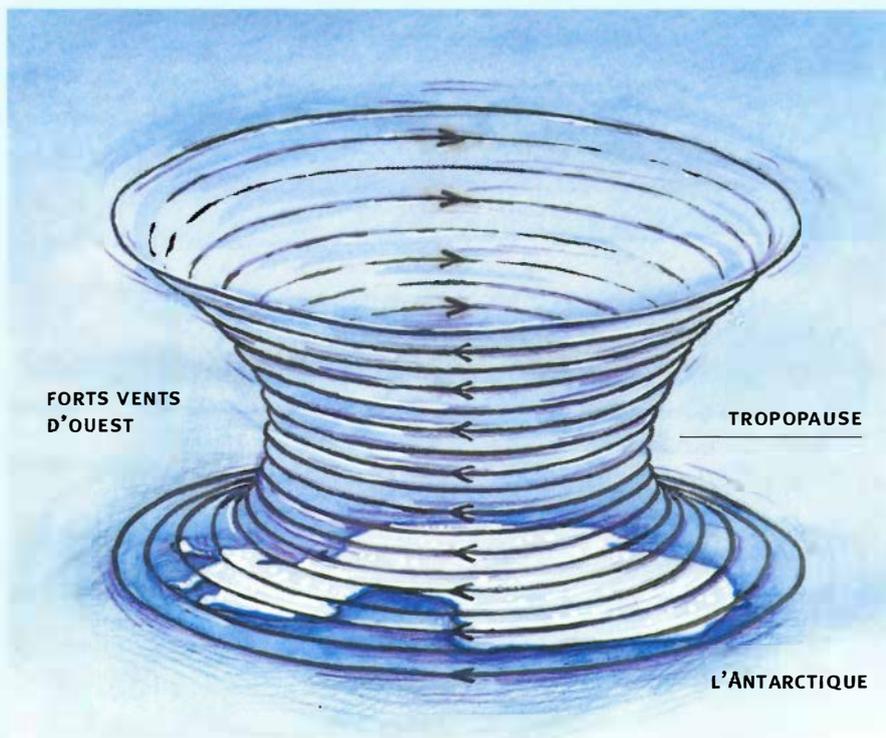
considérablement (plus de 50%). Des observations par satellites ont montré que le «trou» en question avait la taille de l'Europe occidentale! Cette nouvelle fit l'effet d'un coup de tonnerre, car on avait toujours pensé que c'était aux pôles que l'ozone était le plus stable du fait que sa destruction naturelle y était minime. Alors que dans les années 60 et au début des années 70, la colonne d'ozone moyenne atteignait 300 D au mois d'octobre, au cours des années suivantes, elle ne cessa de baisser graduellement jusqu'en dessous de 200 D. Depuis la fin des années 80, des valeurs inférieures à 150 D (soit moins de la moitié de la quantité normale d'ozone) sont même enregistrées très régulièrement au mois d'octobre.

Reste à savoir pourquoi ce trou se situe au-dessus du pôle Sud, et pas ailleurs. Les CFC sont en effet principalement utilisés

– et donc émis– dans les pays industrialisés (dont 90% en Europe, au Japon, en Amérique du Nord et dans la CEI).

La réponse se trouve dans les conditions météorologiques régnant au pôle Sud. Les CFC qui arrivent dans l'atmosphère dans l'hémisphère Nord, se propagent lentement et uniformément dans la troposphère. Ils entrent dans la stratosphère principalement au niveau des régions tropicales, où ils sont poussés par les mouvements ascensionnels très vigoureux de l'air. De là, ils sont transportés par la circulation stratosphérique, aussi bien vers le pôle Nord que vers le pôle Sud. La quantité de CFC contenue dans la stratosphère est par conséquent pratiquement iden-

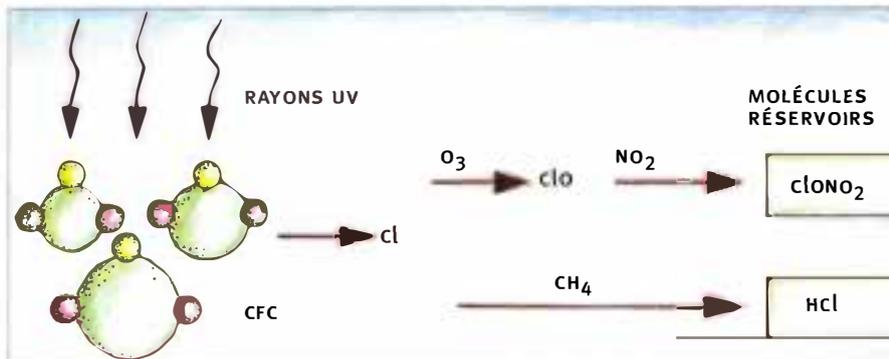
tique dans les deux hémisphères. La grande différence entre l'Antarctique et le reste du monde se situe au niveau des conditions météorologiques très extrêmes qui règnent là-bas. Pendant l'hiver antarctique (notre été), des vents très violents tournent autour du pôle et forment une espèce de tourbillon (vortex). Ce vortex isole complètement les masses d'air polaires qu'il englobe, de l'air plus chaud environnant. Du fait de cette isolation, et en l'absence de lumière solaire, il règne à l'intérieur de cette masse d'air un froid terrible pouvant atteindre -90°C - ce qui représente déjà 10°C de moins qu'au pôle Nord. Dans des circonstances normales, il n'y a pas de nuages dans la stratosphère car l'air y est



LE VORTEX DU PÔLE SUD ISOLE LA MASSE D'AIR QU'IL ENGLOBE, ET L'EMPÊCHE DE SE MÉLANGER AUX MASSES D'AIR PLUS CHAUDES ENVIRONNANTES. LE VORTEX S'ÉTEND JUSQUE DANS LA STRATOSPHERE ET FORME UN ÉNORME RÉACTEUR À L'INTÉRIEUR DUQUEL L'OZONE EST IMPITOYABLEMENT DÉTRUIT. AVEC LE RETOUR DES RAYONS DU SOLEIL, APRÈS UN CERTAIN TEMPS (DÉBUT NOVEMBRE), CETTE SORTIE DE CLOCHE POLAIRE S'OUVRE PROGRESSIVEMENT.

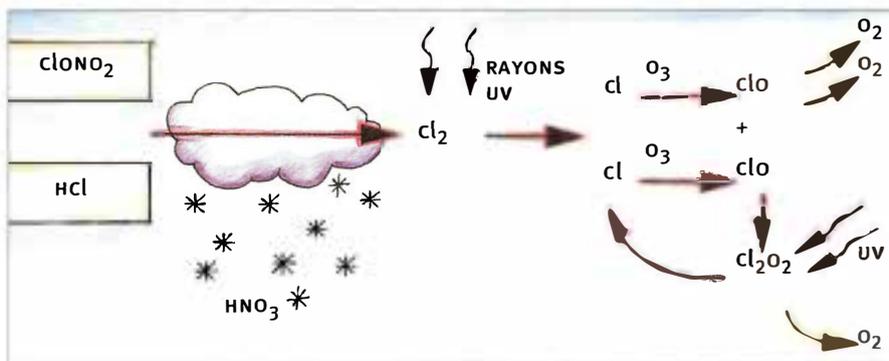
extrêmement sec. Lorsque la température est particulièrement basse (en dessous de -80°C), des nuages peuvent malgré tout se former à une altitude d'environ 15-20 km. Ces nuages stratosphériques polaires se composent de minuscules cristaux de glace, et sont appelés nuages nacrés ou irisés en raison de leurs couleurs magnifiques.

DU FAIT DU FROID EXTRÊME (-90°C), DES NUAGES STRATOSPHÉRIQUES POLAIRES SE FORMENT AU-DESSUS DU PÔLE SUD. À LA SURFACE DE CES NUAGES IRISÉS, DES RÉACTIONS CHIMIQUES COMPLEXES SE PRODUISENT ET DES QUANTITÉS CONSIDÉRABLES DE PARTICULES «ACTIVES» SE FORMENT. CES PARTICULES SONT TRANSFORMÉES EN DESTRUCTEURS D'OZONE PAR LA LUMIÈRE DU SOLEIL. CES NUAGES IRISÉS S'OBSERVENT PARFOIS AUSSI DANS LE CIEL BELGE ET NÉERLANDAIS, COMME EN FÉVRIER 1996.



SANS NUAGE

À la surface de ces cristaux de glace, qui contiennent de l'eau et de l'acide nitrique (HNO_3), des réactions chimiques très complexes transforment à toute vitesse les molécules réservoirs inoffensives et non-réactives (voir encadré p.98), en particules «actives» sensibles à la lumière.



AVEC NUAGES

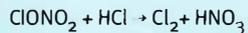
DESTRUCTION NORMALE DE L'OZONE (HAUT), ET DESTRUCTION DE L'OZONE SUR LES NUAGES POLAIRES STRATOSPHÉRIQUES (BAS). LES «MOLECULES RÉSERVOIRS» DE ClONO_2 ET LE HCl DE CES NUAGES RÉAGISSENT ENTRE EUX POUR FORMER DU Cl_2 . SOUS L'INFLUENCE DES RAYONS UV SOLAIRES, DES RADICAUX CHLORE HYPERRÉACTIFS (Cl^*) DÉTRUISENT L'OZONE TRÈS RAPIDEMENT.

Pendant l'hiver du pôle Sud (juillet-août), l'obscurité règne pratiquement en permanence. De plus, les masses d'air antarctiques ne parviennent pas à quitter le vortex polaire. Il s'y forme donc un immense réacteur isolé. Quand enfin, en septembre et octobre, les premiers rayons du Soleil atteignent l'Antarctique, les particules sensibles à la lumière sont dissociées en

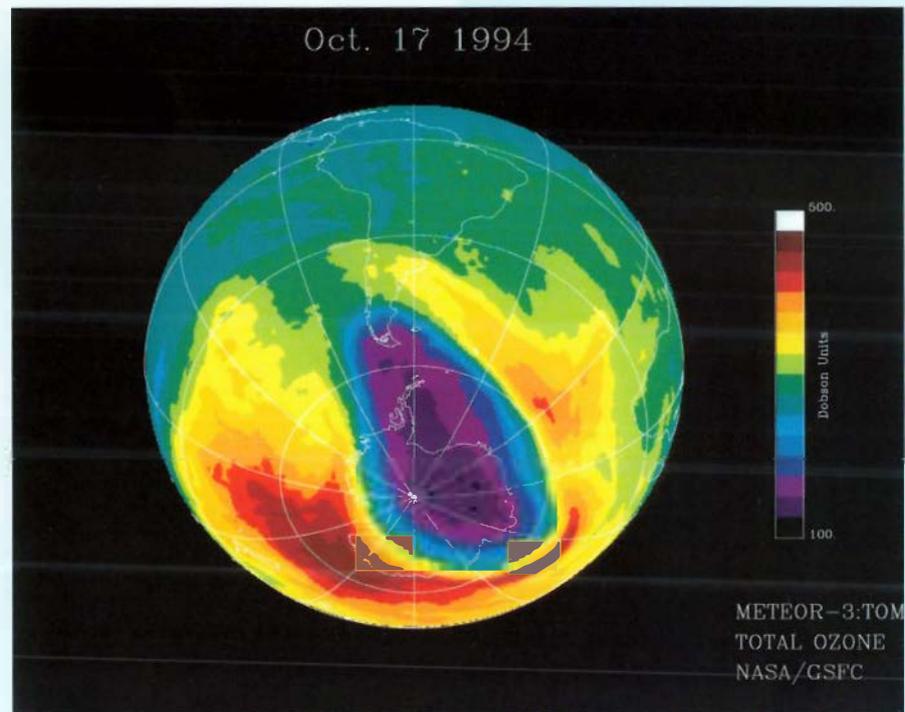
X* (Cl*), des impitoyables mangeurs d'ozone! En peu de temps donc, de formidables quantités de X*(Cl*) sont libérées dans la stratosphère antarctique, où ils provoquent la destruction de milliards de molécules d'ozone. Ainsi, pendant les mois de septembre et octobre, la quantité d'ozone descend vite de près de 2% par jour, pour tomber en dessous de 150 D.

RÔLE DES «MOLECULES RÉSERVOIRS»

Des molécules réservoirs se forment à la suite de réactions entre des radicaux actifs (Cl* et ClO*) et du NO₂ ou du CH₄, donnant du ClONO₂ ou du HCl. Ces molécules réservoirs sont inoffensives et peu réactives. Elles veillent à rendre inactives les Cl* et ClO* destructeurs d'ozone. Sur les nuages polaires stratosphériques cependant, il se produit (entre autres) la réaction suivante:

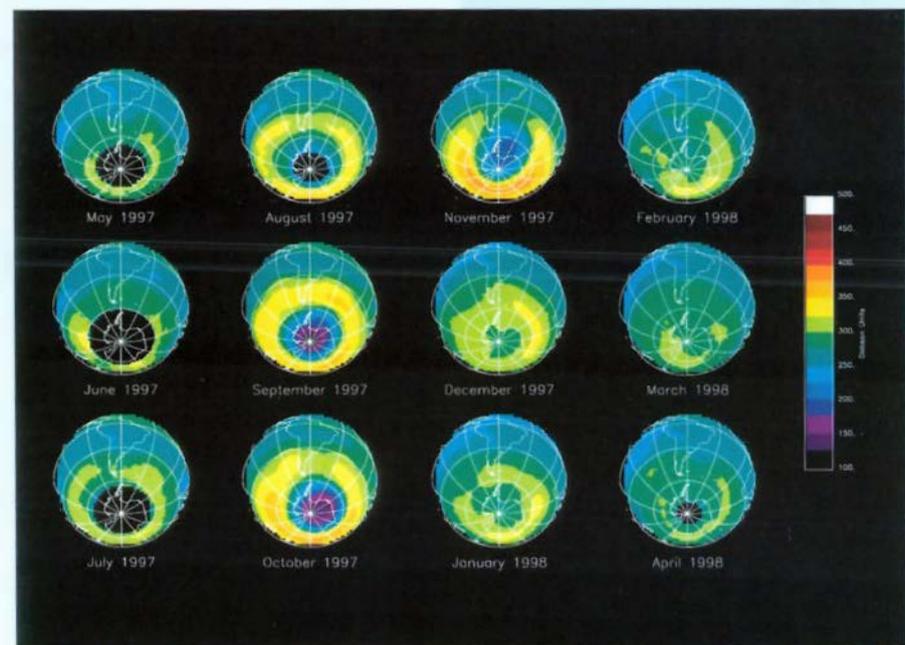


Sur les nuages stratosphériques, la réaction des deux gaz réservoirs «inoffensifs» avec le HCl entraîne la formation d'une particule «active» sensible à la lumière, le Cl₂. Cette réaction peut néanmoins survenir aussi dans l'atmosphère libre, donc en dehors de la surface des nuages polaires stratosphériques. Elle y est toutefois sensiblement plus lente, et intervient donc fort peu. Au printemps, les premiers rayons du soleil scindent cette molécule de chlore (Cl₂) active, en deux radicaux chlore (Cl*) - 2 X* -, et l'ozone stratosphérique est implacablement détruit. Détail piquant: les molécules de NO₂ qui devraient se charger de la formation des molécules réservoirs non réactives (ClONO₂) - et donc soustraire les Cl* et les ClO* de l'atmosphère pour éviter la destruction de l'ozone - se trouvent, du fait du froid extrême, «gelées», sous forme de molécules de HNO₃ dans les nuages polaires stratosphériques. Les Cl* et les ClO* ont donc le loisir de s'accumuler massivement et de détruire l'ozone sans être dérangés.



LE VORTEX POLAIRE À L'INTÉRIEUR DUQUEL SE TROUVE LE TROU D'OZONE, PRÉSENTE RÉGULIÈREMENT DES EXCROISSANCES VERS DES RÉGIONS PLUS SEPTENTRIONALES. LE 17 OCTOBRE 1994, LE TROU S'ÉTENDAIT JUSQU'AU-DESSUS DU SUD DE L'ARGENTINE (IMAGE TOMS PAR SATELLITE).

ÉVOLUTION ANNUELLE DE LA COUCHE D'OZONE AU-DESSUS DU PÔLE SUD. ENTRE DÉCEMBRE ET AVRIL, L'OZONE N'EST PAS DÉTRUIT (ZONE VERTE). À PARTIR DU MOIS D'AVRIL, LA NUIT POLAIRE TOMBE ET PERSISTE JUSQU'AU MOIS D'AÔÛT (ZONE NOIRE). IL EST ALORS IMPOSSIBLE DE PRENDRE DES IMAGES PAR SATELLITE. EN SEPTEMBRE ET EN OCTOBRE, LE SOLEIL SE LÈVE SUR LE PÔLE SUD ET LA DESTRUCTION MASSIVE DE L'OZONE REDÉMARRE. LA CONCENTRATION D'OZONE CHUTE ALORS DE PLUS DE 50% (ZONE VIOLETTE).



Le vortex antarctique à l'intérieur duquel se trouve le trou d'ozone n'a néanmoins pas de forme stable. Il varie presque quotidiennement et présente régulièrement des «excroissances» vers des régions plus septentrionales comme la Terre de Feu, au sud de l'Argentine. Avec le retour des rayons du Soleil, vers le début du mois de novembre, le vortex polaire s'ouvre progressivement. De ce fait, de l'air stratosphérique plus chaud et riche y est à nouveau admis, et «remplit» petit à petit le trou d'ozone. Ce processus a toutefois une conséquence désagréable: la masse d'air pauvre en ozone se déplace vers le nord, et des concentrations d'ozone temporairement réduites sont enregistrées au-dessus de l'Australie, de l'Argentine et du Chili.

COMMUNIQUÉ DE PRESSE DU WMO

COMMUNIQUÉ RELATIF À L'OZONE ANTARCTIQUE, DATANT DU 8 OCTOBRE 1997

«Ces dix derniers jours, les valeurs d'ozone mesurées se sont considérablement rapprochées des valeurs les plus basses enregistrées au cours des cinq dernières années, pendant le printemps austral. Avec des valeurs inférieures au seuil des 220-200 D (pénurie de 35-40%), le trou dans la couche d'ozone a atteint son développement maximal, à l'intérieur de la totalité de la zone couverte par le vortex polaire stratosphérique (avec une superficie de plus de 22 millions de km²). La superficie dans laquelle la colonne d'ozone reste inférieure à 150 D (insuffisance de plus de 55%) a continué à s'élargir, passant de 6 millions de km² durant la dernière semaine de septembre, à environ 8 millions de km² au cours de ces derniers jours. Le vortex est légèrement elliptique et s'est étendu, pendant sa rotation du 4 octobre et pour la deuxième fois cette saison, jusqu' en Amérique du Sud. A la station d'observation de Tierra del Fuego (Terre de Feu), à hauteur d'Ushuaia, une colonne d'ozone de 211 D a été mesurée. La quantité moyenne d'ozone au-dessus du pôle Sud (65-90° de latitude S) s'est élevée ces deux dernières semaines à 184 D, soit 40% de moins que les moyennes antérieures au trou dans la couche d'ozone...»

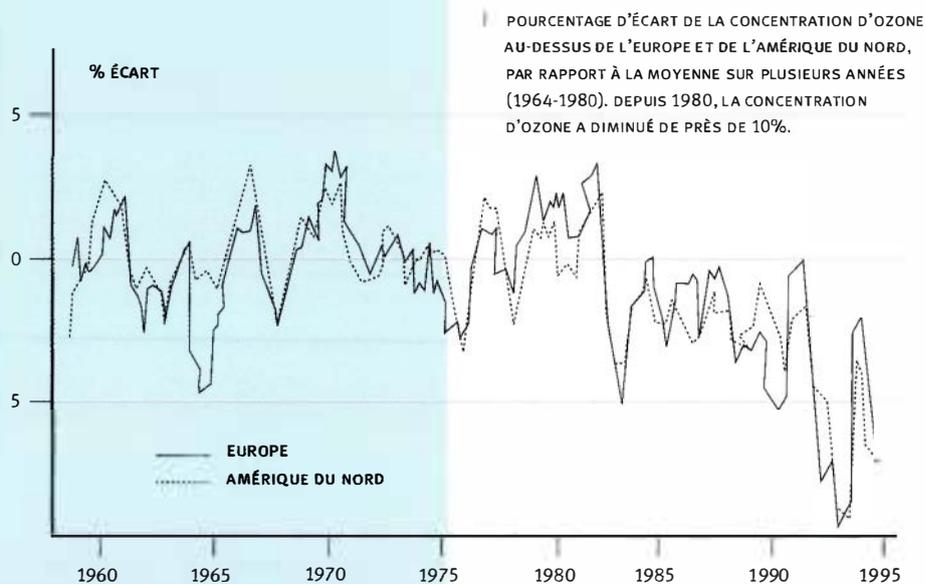
Et le pôle Nord alors?

Le pôle Nord est provisoirement épargné d'une destruction massive de son ozone, grâce au fait que des masses d'air terriblement froides, complètement isolées du monde extérieur, y séjournent rarement. Le pôle Nord est en effet entouré des vastes masses de terres, de sorte que le vortex polaire annuel y est nettement moins intense et dure moins longtemps que celui qui règne au-dessus de l'Antarctique. Le pôle Nord bénéficie donc très régulièrement d'échanges avec des masses d'air chaud, riche en ozone, dans la basse stratosphère. Néanmoins, depuis 1989, des nuages stratosphériques polaires dans lesquels des composés chlorés non-réactifs deviennent réactifs, ont également été repérés au-dessus du pôle Nord. Depuis le début des années 90, une diminution sensible de la concentration d'ozone y est régulièrement observée. En mars 1995, par exemple, la quantité totale d'ozone se trouvant à l'intérieur du vortex polaire était inférieure de 25% par rapport à la normale. De plus, entre 16 et 24 km d'altitude, la

concentration d'ozone avait même dégringolé de 60% en certains endroits. Pendant l'hiver 1997 (le troisième hiver polaire successif particulièrement froid depuis 1995), la concentration d'ozone à l'intérieur du vortex polaire subissait une chute de 40% par rapport à la concentration extérieure, et des valeurs inférieures à 250 D étaient enregistrées. Ces valeurs avaient été observées en particulier à l'intérieur du vortex arctique qui, à certains moments, dérive jusqu'au-dessus du Canada, du Groenland ou du nord de la Scandinavie. Au cours des mois de février et mars, lorsque la destruction de l'ozone atteint son niveau maximal, la présence d'importantes quantités de composés chlorés destructeurs d'ozone avait simultanément été constatée dans la stratosphère. Depuis la fin des années 60, la quantité d'ozone au-dessus du pôle Nord a baissé de plus de 10%.

L'ozone dans le monde

Plus de 15 années de mesures continues par satellite et 30 ans d'observations au sol ont permis de mettre en évidence une



SOURCE | WMO/UNEP

diminution globale de l'ozone de 3% depuis 1980! La destruction de l'ozone n'est cependant pas régulièrement répartie à travers le globe. Alors qu'au-dessus des tropiques, aucun changement de la colonne d'ozone n'est constaté, la destruction de ce gaz augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche des pôles. Au-dessus des régions les plus septentrionales de l'Europe (Grande-Bretagne, Bénélux et Scandinavie) et de l'Amérique du Nord, la quantité d'ozone a diminué de près de 10% depuis 1980! Cette baisse a principalement été enregistrée dans la basse stratosphère (<23 km d'altitude).

La destruction de l'ozone au-dessus des régions tempérées (dont l'Europe) semble se manifester plus nettement en hiver. Toutefois, des problèmes sont désormais également détectables au printemps et en été. Bien que des variations des modèles météorologiques puissent expliquer les fluctuations de la couche d'ozone (les valeurs basses sont généralement associées à des conditions anticycloniques en hiver), plus personne ne conteste le fait que les processus naturels ne sont pas les seules causes de la destruction globale de l'ozone. Il est probable que l'émission surabondante de fréons et d'autres polluants soient également à la base de la dégradation de l'ozone, des aérosols sulfatés servant de catalyseurs, tout comme les nuages stratosphériques polaires le font aux pôles.

Dans nos régions, les basses concentrations d'ozone observées sont également dues au fait que de l'air pauvre en ozone quitte le pôle Nord pour se précipiter sous nos latitudes tempérées. Pendant l'hiver 1995, la colonne d'ozone totale avait baissé de 10 à 12% en moyenne, au-dessus de l'Europe centrale et occidentale, ainsi qu'au-dessus de l'Amérique du Nord. Pendant quelques

AÉROSOLS SULFATÉS ET DESTRUCTION DE L'OZONE

Tout comme les cristaux de glace stratosphériques stimulent la destruction de l'ozone au-dessus de l'Antarctique, les aérosols sulfatés peuvent jouer un rôle important dans la dégradation de l'ozone des régions tempérées. Même si le dioxyde de soufre rejeté dans l'air par les activités humaines retombe assez vite sous forme de pluie acide, une partie des combinaisons soufrées naturelles parviennent à atteindre la stratosphère, où elles se transforment finalement en aérosols sulfatés. Les éruptions volcaniques aussi injectent à court terme d'énormes quantités de dioxyde de soufre, de cendres et de vapeur d'eau dans la stratosphère. Ces aérosols peuvent y séjourner quelques années, et se répandre partout dans le monde sous l'action des vents stratosphériques. La basse stratosphère contient donc toujours une certaine quantité d'aérosols sulfatés (d'origine naturelle). A l'image de ce qui se passe sur les cristaux de glace de la stratosphère, des réactions chimiques peuvent se produire à la surface de ces aérosols, et transformer des composés chlorés non-réactifs, en composés réactifs accélérant la destruction de l'ozone. Etant donné que des réactions de ce genre sont nettement plus efficaces quand il fait très froid, la dégradation de l'ozone a surtout lieu en hiver. Une combinaison de ces réactions chimiques et une concentration croissante de chlore anthropogène (dont les CFC) dans la stratosphère, sont parmi les causes principales de l'amincissement de la couche d'ozone parfois observé sous des latitudes moyennes et hautes. C'est ainsi qu'une diminution de 6 à 8% de la colonne d'ozone totale a été constatée au-dessus des tropiques, durant quelques mois après l'éruption du Pinatubo aux Philippines, en juin 1991, alors que sous des latitudes modérées, une chute supplémentaire de 2% venait s'ajouter à la tendance à la baisse «habituelle».

semaines, la pénurie d'ozone en Europe a même dépassé les 20%. Des valeurs particulièrement basses ont également été enregistrées à Uccle, en avril 1996 et 1997. Elles étaient probablement dues en partie à la dégradation chimique de l'ozone au-dessus du pôle Nord. Après les hivers polaires extrêmement rigoureux de 1996 et 1997, les premiers timides rayons du Soleil avaient en effet entraîné une destruction importante de l'ozone, en provoquant la formation de particules photosensibles sur les nuages stratosphériques couvrant le pôle Nord. Après un certain temps, cet air polaire légèrement réchauffé est parti en direction de latitudes plus basses, pour atteindre notamment la Belgique.

Des mesures à long terme indiquent que dans la stratosphère européenne, la concentration d'ozone régresserait deux fois plus vite que prévu. Au-dessus de la station de l'IRM, à Uccle, la colonne d'ozone a diminué d'environ 4% par décennie depuis 1980. Des tendances similaires ont été repérées dans d'autres régions tempérées de l'hémisphère Nord. Tant que l'atmosphère sera polluée par des produits chimiques rejetés par l'homme, la couche d'ozone risque de continuer à s'effiloche.

Des CFC «doux»?

Depuis que l'homme a compris que les CFC détruisent l'ozone, il cherche activement à inventer des substances chimiques susceptibles de les remplacer. Parmi ces produits de substitution, il y a les HCFC, des CFC dits «doux». Ils doivent leur nom au fait que leur «voracité» vis-à-vis de l'ozone est nettement plus faible. Les HCFC sont bien moins stables que les CFC, de sorte qu'ils se dissocient dès leur arrivée dans les couches inférieures de l'atmosphère. Leur atome de chlore

retombe alors au sol, avec la pluie. Il n'atteint donc rarement la stratosphère, où il pourrait détruire l'ozone. D'autres CFC «doux» ont également été créés. Ces substances, appelées HCFC, ne contiennent que d'inoffensifs atomes d'hydrogène (H), de fluor (F) et de carbone (C). A quelques exceptions près, elles remplacent parfaitement les CFC traditionnels. Outre les CFC «doux», il existe des HBFC «doux» (halons avec un hydrogène) qui, tout comme les HCFC, se désagrègent rapidement dans la troposphère, ce qui limite leur arrivée dans la stratosphère.

Et pourtant, ces HCFC, HFC et HBFC, si «doux» soient-ils pour la couche d'ozone, constituent, tout comme leurs homologues «durs», des gaz à effet de serre. Ils contribuent donc au réchauffement de la planète (voir aussi le chapitre consacré aux glaciers alpins). Ils ne peuvent dès lors

TROU D'OZONE ET EFFET DE SERRE

L'effet de serre a tendance à réchauffer la surface de la Terre et la troposphère, mais à refroidir la stratosphère. Il risque ainsi de favoriser la formation de nuages stratosphériques et de là, une aggravation de l'amincissement de la couche d'ozone. Des modèles atmosphériques sophistiqués en 3D permettent de simuler l'avenir. Des spécialistes ont calculé que si la concentration de CO₂ dans l'atmosphère doublait – ce qui pourrait bien se produire avant la fin du siècle prochain, si nous n'intervenons pas à temps pour limiter à l'échelle mondiale les émissions de gaz à effet de serre –, la couche d'ozone risquerait de se trouver également au-dessus du pôle Nord et de l'Europe septentrionale. Ce trou serait comparable à celui qui menace actuellement le pôle Sud, l'ozone étant localement détruit à près de 100% dans la basse stratosphère. Compte tenu de la densité de la population dans ces régions, les conséquences seraient nettement plus dramatiques qu'en Antarctique.

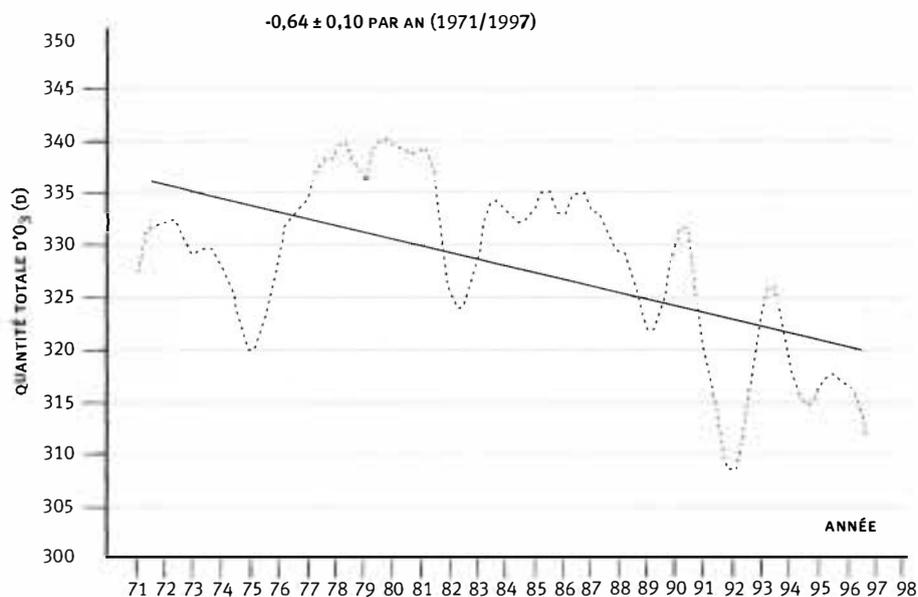
être considérés que comme des produits de transition à employer en attendant une solution plus radicale pour protéger la couche d'ozone.

Il existe pourtant des alternatives qui n'endommagent pas l'ozone et ne renforcent pas l'effet de serre. L'ammoniac et le propane, par exemple, remplacent parfaitement les CFC dans l'industrie du froid. Le pentane s'avère quant à lui efficace pour gonfler les mousses. Certains hydrocarbures, l'oxyde d'azote ou tout simplement l'air, font parfaitement office de gaz propulseurs, tandis que l'eau reste la solution la plus évidente pour éteindre un feu. En dehors des alternatives chimiques, l'homme se tourne peu à peu vers des techniques alternatives.

Le rayonnement ultraviolet

Des UV à la hausse?

La couche d'ozone joue un rôle primordial: elle absorbe les dangereux rayons ultraviolet émis par le Soleil, et constitue, pour les êtres vivants, un bouclier protecteur. L'ozone arrête surtout les rayons UVB, ceux dont la longueur d'onde se situe entre 280 nm et 320 nm. Toute variation de la concentration d'ozone modifie la quantité de rayons UVB nocifs qui atteint la Terre. Comme la colonne d'ozone augmente (et l'intensité du rayonnement solaire à la surface de la Terre faiblit) des tropiques vers les pôles, les régions tropicales subissent un climat «fortement ultraviolet», tandis que les régions tempérées et les pôles connaissent un climat «faiblement ultraviolet».



ÉVOLUTION DE LA QUANTITÉ TOTALE D'OZONE AU-DESSUS D'UCCLE (MESURÉE AVEC LE SPECTROMÈTRE DE DOBSON). DEPUIS 1971, LA COLONNE TOTALE D'OZONE EST DESCENDUE DE 16 U (5%). LA CHUTE SPECTACULAIRE DE FIN 1992 EST DUE À L'ÉRUPTION DU MONT PINATUBO AUX PHILIPPINES, EN JUIN 1991. LES QUANTITÉS CONSIDÉRABLES D'AÉROSOLS VOLCANIQUES PROJÉTÉES DANS LA STRATOSPHÈRE ONT PROVOQUÉ UNE DESTRUCTION ACCÉLÉRÉE DE L'OZONE AU-DESSUS DE NOS RÉGIONS.

SOURCE IIRM

Pour un ciel sans nuage et non pollué (les nuages et la pollution de l'air absorbent et réfléchissent les UV), une diminution de la colonne d'ozone de 1% entraîne une augmentation d'environ 2% de la quantité de rayons UVB à la surface de la Terre. Etant donné que le niveau d'ozone global a reculé de 5% ou plus au cours des vingt dernières années (sauf au-dessus de la ceinture équatoriale,) nous pouvons supposer que la quantité d'UVB s'est légèrement accrue. En Antarctique (à cause du trou dans la couche d'ozone), une hausse sensible des UVB est en effet constatée en octobre. En dehors du pôle Sud, on dispose de peu d'indices d'une augmentation des rayons UVB. Pourquoi? Primo, parce que les mesures sont fortement influencées par les variations de la nébulosité et de la pollution atmosphérique (aussi bien sous forme de gaz que d'aérosols) - or, la plupart des stations d'observation sont installées principalement dans des zones urbaines (polluées). Secundo, parce que les appareils de détection utilisés ne sont pas assez sensibles pour enregistrer avec précision les légères modifications du rayonnement UVB. Tertio, parce que le réseau UVB n'est pas assez étendu pour observer convenablement l'évolution de ces rayons. A part quelques stations dans les régions tropicales, en Europe de l'Est, en Asie et en Amérique du Sud, la majorité d'entre elles se trouvent en Europe occidentale et en Amérique du Nord. Par ailleurs, il n'y a aucune station en mer, alors que les océans occupent 70% de la surface de la Terre. Enfin, ces stations ont à peine dix ans, ce qui est insuffisant pour étudier des changements à long terme. Il faut en outre tenir compte d'une expansion de la concentration d'ozone troposphérique (voir le chapitre consacré à Bruxelles) qui,

tout comme son homologue stratosphérique, absorbe des rayons UVB. Dans ce contexte, la pollution de l'air a ses avantages, mais elle masque peut-être une tendance à la hausse de la quantité de rayons UVB nocifs. A certains endroits, des appareils plus sophistiqués ont néanmoins déjà permis de détecter une intensification locale du rayonnement UVB. Au-dessus des Alpes notamment, où la pollution de l'air est faible ou même nulle, une progression annuelle de 1% a été mesurée. Au-dessus de la Nouvelle-Zélande (non polluée), une légère progression des UVB, liée à la régression enregistrée de l'ozone, a pu être enregistrée. Cette augmentation reste toutefois faible, comparée à la variation journalière du rayonnement UVB qui atteint la surface de la Terre. Pourtant, les risques de voir de grandes parties de l'Europe et de l'Amérique du Nord devenir, dans un avenir proche, la proie de ces rayons dangereux sont bien réels.

Impacts d'une augmentation des UV

A l'heure actuelle, un changement à long terme de la quantité de rayons UVB n'est pas encore nettement perceptible (ne serait-ce qu'en raison des variations naturelles de ce rayonnement, bien supérieures à sa hausse potentielle à long terme). Nous ne disposons donc que de fort peu d'observations directes nous permettant d'obtenir des informations relatives à l'impact biologique des modifications du rayonnement UVB. Il a donc fallu étudier de manière expérimentales, en laboratoire, les effets des rayons UVB sur différents systèmes biologiques. Des chercheurs examinent dans quelle mesure les différentes longueurs d'onde des UV endommagent l'ADN (patrimoi-

ne génétique présent dans toute cellule vivante). Ils tentent également de déterminer la vitesse à laquelle les cellules du cancer de la peau se développent chez des souris avec ou sans poils, et le degré de sensibilité aux brûlures du soleil, des divers types de peau. En mettant ces données en parallèle avec la carte générale des tendances (prévues) de la concentration de l'ozone stratosphérique, il est possible de déduire à quel degré les systèmes biologiques seront atteints.

La santé de l'homme

Chez l'homme, les conséquences éventuelles d'une augmentation des rayons UV sont de natures très variées. Etant donné que nous sommes perpétuellement en contact avec les UV solaires, les risques de cancer de la peau vont se multiplier considérablement. Des spécialistes prévoient qu'un amincissement persistant de 10% de la couche d'ozone globale, provoquera plus de 300.000 nouveaux cas de ce type de cancer. En raison du dysfonctionnement de notre système immunitaire causé par les UV, nous serons plus facilement victimes de maladies virales et bactériennes. Nos yeux seront plus fréquemment atteints de diverses maladies (voir encadré p.103), dont la cataracte. On estime qu'une baisse de 1% de la quantité globale d'ozone entraînera au moins 100.000 cas supplémentaires de cataracte. Et la liste des conséquences négatives potentielles ne fait que s'allonger... Deux petites lueurs d'espoir dans ce sombre tableau: une hausse du rayonnement UVB s'accompagnerait d'une élaboration accrue de la vitamine D3, élément indispensable pour une ossature saine; certaines allergies de la peau (comme les éruptions cutanées, chez les enfants) guériraient également plus vite.

LES UVB ET L'HOMME

MULTIPLICATION DES CANCERS DE LA PEAU

Chacun sait que les rayons UV affectent la peau, comme en témoigne le léger bronzage acquis après quelques bains de soleil. Cette coloration résulte de l'action exercée par le rayonnement UV sur les cellules pigmentaires de la peau – des cellules responsables de la fabrication de la mélanine, un colorant brun. Chez les Blancs, dont la peau est sensible, ce phénomène se traduit plus fréquemment par de douloureux coups de soleil. Une exposition de longue durée aux UV déclenche un durcissement et un vieillissement prématuré de la peau.

Contrairement au coup de soleil qui disparaît en général après une nuit (pénible), la brûlure de la peau par les UV peut être plus ou moins irréversible. Et si l'ADN des cellules cutanées est endommagé, ces cellules deviennent cancéreuses. Les deux types de cellules cutanées (cellules avec ou sans pigment) peuvent être affectées par des cancers.

Ce sont le plus souvent les cellules sans pigment (cellules pavimenteuses et basales) qui sont touchées. Heureusement, il ne s'agit alors que de tumeurs bénignes, qui sont soit neutralisées par les mécanismes naturels de défense du corps, soit éliminées grâce à une petite intervention médicale. Ces carcinomes sont plus fréquents chez les personnes ayant la peau claire et vivant dans les régions très ensoleillées. Par contre, les cancers des cellules pigmentaires – les mélanomes malins – sont nettement moins faciles à soigner et sont, la plupart du temps, fatals s'ils ne sont pas traités à temps. Ils sont étonnamment courants dans le Queensland, une province septentrionale de l'Australie. Cette région est habitée par un



nombre considérable de Blancs, des descendants des émigrants anglais du XIX^e siècle, dont la peau claire n'est pas adaptée à la quantité de rayons UV atteignant naturellement la surface de la Terre à cette latitude.

Alors que l'apparition de carcinomes des cellules pavimenteuses dépend de la quantité totale de rayons UV accumulée au cours de la vie, les carcinomes des cellules basales et les mélanomes malins sont surtout liés à l'exposition aux UV pendant la jeunesse. Ainsi, de graves coups de soleil chez un enfant peuvent induire ultérieurement un cancer de la peau. Il est donc important de se protéger d'une quantité exagérée d'UV dès son plus jeune âge.

DÉPRESSION DU SYSTÈME IMMUNITAIRE

Dès que notre corps est victime d'une infection, notre système immunitaire intervient. C'est un mécanisme de défense naturel, contre tout élément étranger. Si, pour l'une ou l'autre raison, ce système fonctionne mal ou ne fonctionne plus, notre corps est beaucoup plus vulnérable vis-à-vis de tout un éventail de maladies. Comme la peau est dans la plupart des cas notre première ligne de défense, son système immunitaire est le premier à entrer en action.

Mais une exposition prolongée aux rayons UVB peut provisoirement le désactiver. De ce fait, la peau ne nous défend plus correctement vis-à-vis des corps étrangers (les antigènes), et les risques d'infection augmentent : infections virales (rougeole, varicelle, herpès,...), bactériennes (tuberculose), parasitaires (malaria), mycobactérioses (lèpre)...



Chez les souris et les humains atteints de cancers de la peau non mélaniques, on a constaté que le rayonnement UVB avait en outre une action immunodépressive vis-à-vis des tumeurs cancéreuses

AFFECTIONS OCULAIRES

Les yeux peuvent être gravement endommagés par une exposition excessive aux UVB.

La cataracte est une affection du cristallin qui trouble la vue et peut entraîner la cécité. Son mécanisme n'est pas encore parfaitement connu, mais il semble néanmoins que l'opacité du cristallin soit liée à une exposition prolongée au rayonnement UVB. Bien qu'une intervention chirurgicale permette d'y remédier, cette maladie reste une cause importante de cécité tant dans le monde occidental que dans les pays en voie de développement.

Située à l'avant du globe oculaire, la cornée aussi peut être atteinte par les UVB. Les skieurs imprudents en auront sûrement fait l'expérience. La cécité (ou ophtalmie) des neiges est une affection oculaire bien connue (yeux et paupières rouges), douloureuse mais généralement passagère.

UNE AUGMENTATION DES RADIATIONS UV PEUT ACCÉLÉRER LE VIEILLISSEMENT DE LA PEAU ET PROVOQUER DES TUMEURS BÉNIGNES (PHOTO DE GAUCHE). LES MÉLANOMES PEUVENT ÊTRE MORTELS S'ILS NE SONT PAS TRAITÉS À TEMPS (PHOTO CI-DESSUS). LES CAS D'HERPÈS SONT PLUS FRÉQUENTS QUAND LES DÉFENSES IMMUNITAIRES DIMINUENT (PHOTO CI-DESSOUS).



La vie végétale

Des tests réalisés en laboratoire sur plus de 300 espèces végétales ont démontré qu'un excès de rayonnement ultraviolet est nocif pour les plantes. Plus de la moitié des plantes observées présentaient une réduction de la taille, de la vitesse de croissance et de la productivité. Ceci s'explique par une perturbation de la photosynthèse – un mécanisme qui permet à la plante de fabriquer les sucres nécessaire à sa croissance et à son développement, à partir d'eau, de CO₂ et grâce à la lumière.

Un excès d'UV peut également produire des modifications plus subtiles, telles que l'apparition de feuilles plus nombreuses et plus petites, et la multiplication des ramifications. Ces modifications n'affectent cependant pas la croissance des plantes. Toutefois, en modifiant le taux d'absorption des rayons solaires, elles bouleversent l'équilibre écologique entre espèces végétales.

L'orge et l'avoine sont très facilement endommagés en cas d'excès de rayonnements UV. Certains légumes (pois, soja, tomate, concombre, chou-fleur et épinard) y sont également sensibles. Des chercheurs ont constaté qu'une réduction de l'ozone de 10% entraîne une diminution à peu près équivalente de la production végétale (avoine et soja, entre autres). La composition biochimique des plantes (protéines, acides aminés, sucres) peut elle-même être influencée par un accroissement des



rayons UV: leur valeur nutritive décroît, avec toutes les conséquences néfastes que cela implique pour notre santé.

La croissance de certains arbres (hêtres, chênes, bouleaux, ...) est également ralentie. A l'échelle d'une forêt, la diminution de la quantité de CO₂ absorbée est sensible – d'où un renforcement de l'effet de serre. Enfin, outre une diminution de leur production et de leur croissance, les végétaux contractent plus facilement toute une série de maladies.

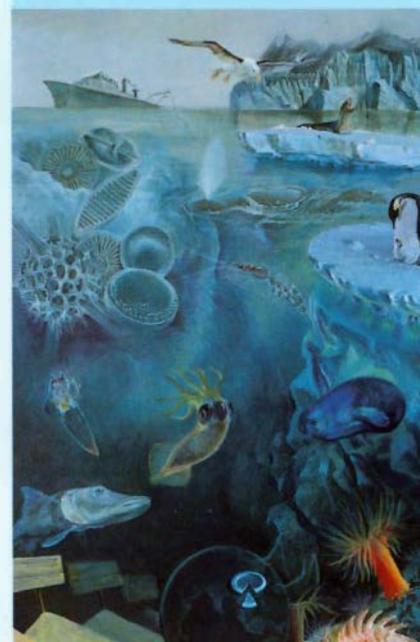
La vie marine

Les effets d'une intensification du rayonnement UV mettent en danger l'ensemble de la chaîne alimentaire des océans. Les UV ralentissent la croissance du phytoplancton, des algues microscopiques à la base de la chaîne alimentaire marine. Comme le krill (des essaims de petites crevettes molles) se nourrit de phytoplancton, il pâtit indirectement de l'augmentation du rayonnement UV. Et ce n'est pas tout, car le krill est

LES RAYONS UV-B PERTURBENT LA MACHINERIE PHOTOSYNTHÉTIQUE DES VÉGÉTAUX. LA CROISSANCE ET LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES EN SONT AFFECTÉS.

directement ou indirectement au menu des crabes, des poissons, des pingouins, etc. C'est donc toute la chaîne alimentaire qui est menacée – de même que les millions de personnes dont l'alimentation est essentiellement composée de poissons. Des chercheurs ont évalué qu'une baisse de la quantité d'ozone de 15% entraînerait la perte de 7.000.000 de tonnes de poisson par an, soit 5% de la production mondiale.

LE PHYTOPLANCTON EST À LA BASE DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE OCÉANIQUE. IL SERT DE NOURRITURE AUX CONSOMMATEURS PRIMAIRES (LARVES DE POISSONS ET CREVETTES), CONSOMMÉS À LEUR TOUR PAR DES CONSOMMATEURS SECONDAIRES ET TERTIAIRES (POISSONS, PAR EXEMPLE). TOUTE AUGMENTATION DU RAYONNEMENT UV RISQUE DE RALENTIR LA CROISSANCE ET LA PRODUCTIVITÉ DU PHYTOPLANCTON ET DE LÀ, DE PORTER ATTEINTE À TOUTE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE MARINE.



Par ailleurs, le phytoplancton absorbe (pour sa photosynthèse) environ la moitié du CO_2 émis annuellement (toutes sources d'émission confondues). La chute de l'absorption du CO_2 par les océans, en raison d'une augmentation des UV, se traduirait donc par un coup de pouce à l'effet de serre renforcé.

Les larves de homards et de crabes en souffriraient aussi terriblement, car ces petites bêtes passent les différents stades de leur croissance près de la surface de l'eau... où l'intensité du rayonnement UV est élevée. Leur ADN serait endommagé et leurs chances de croissance et de survie en seraient dramatiquement réduites.

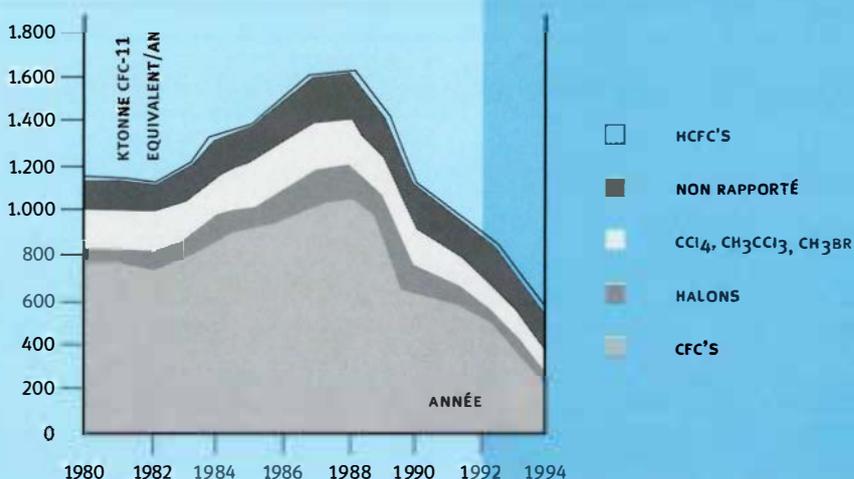
I Mesures

Le passage à l'action: le Protocole de Montréal

Même si l'hypothèse formulée en 1974 par Rowland et Molina fut très controversée, elle réussit tout de même à attirer l'attention sur l'action destructrice que les CFC ont sur l'ozone. Des débats furent organisés aux quatre coins du monde, et les pressions exercées en vue de contrôler la production des CFC devinrent de plus en plus fortes. Des experts de 32 pays finirent par se réunir à Washington, en 1977, dans le but de lancer un «Plan mondial d'Action pour la Couche d'Ozone». Toutefois, l'objectif de ce plan consistait plutôt en une étude des répercussions d'une couche d'ozone «trouée» sur la santé publique, les écosystèmes et le climat. Cette réunion inspira les Etats-Unis, le Canada et les pays scandinaves: ils bannirent l'usage des CFC en tant que gaz

propulseurs. En mars 1985, la Convention de Protection de l'Ozone des Nations Unies fut constituée à Vienne. Un accord y fut conclu entre différentes nations, afin de tenter de résoudre un problème mondial dont les effets n'étaient encore ni visibles, ni scientifiquement prouvés. Une grande première historique! Les partici-

consommation des halons devait être «gelée» au niveau de 1986. De nouvelles connaissances scientifiques et des progrès techniques exigèrent toutefois une révision et un «affûtage» permanents de ce protocole. C'est ainsi qu'à Londres, en 1990, et à Copenhague, en 1992, il fut décidé d'imposer un arrêt total de la

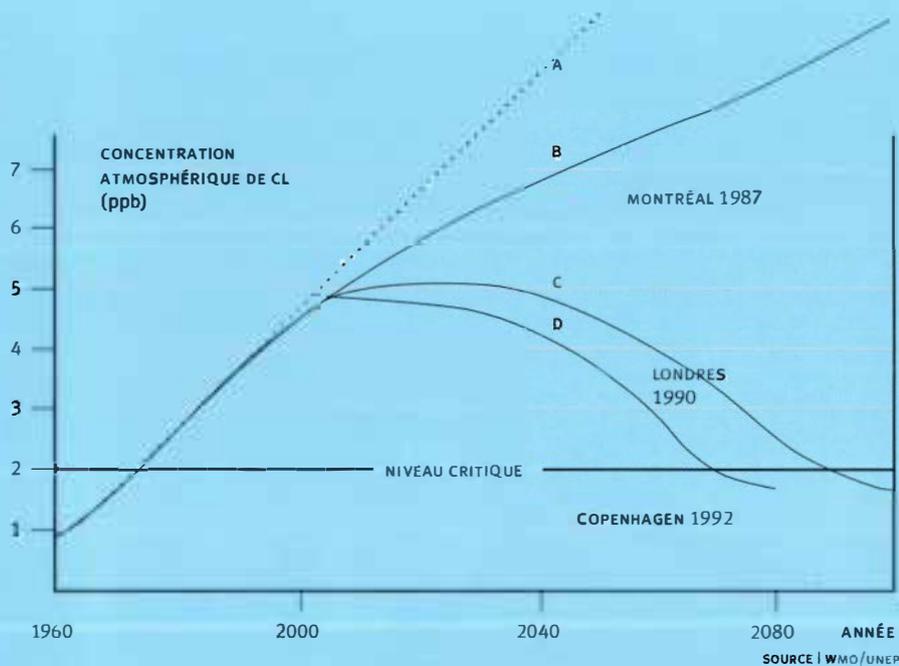


PRODUCTION MONDIALE ANNUELLE DE CFC ET DE SUBSTANCES CONNEXES DÉTRUISANT LA COUCHE D'OZONE. JUSQU'EN 1987, ANNÉE DU «PROTOCOLE DE MONTRÉAL SUR LES SUBSTANCES DÉTRUISANT LA COUCHE D'OZONE», LA PRODUCTION DE CES SUBSTANCES A RÉGULIÈREMENT AUGMENTÉ. L'ENTRÉE EN VIGUEUR DU PROTOCOLE EN 1988, ET SES AMENDEMENTS, ONT MARQUÉ LE DÉBUT DE LA BAISSÉ DE CETTE PRODUCTION.

pants venaient à peine de prononcer ces bonnes paroles que, quelques mois plus tard, une étude scientifique parut dans le célèbre magazine américain «Nature»: on y démontrait l'existence d'un trou dans la couche d'ozone au-dessus du pôle Sud! Ce n'était encore qu'un tout petit pas vers le «Protocole international de Montréal sur les Substances détruisant la Couche d'Ozone» (septembre 1987). Ce protocole prévoyait, pour 1999, une réduction de 50% de la production et de l'utilisation des cinq fréons les plus nocifs, à savoir les CFC 11, 12, 113, 114 et 115. En outre, la

consommation et de la production des cinq CFC les plus dangereux, respectivement pour 1996 et 1994. Une dizaine d'autres CFC furent également placés sur la liste noire.

Pour la première fois, les HCFC «doux» figurèrent également parmi les interdits. Leur suppression était imposée pour l'an 2030, tandis que la production des HBFC «doux» devait être ramenée au niveau zéro pour 1996. En 1995, le Protocole de Montréal fut une nouvelle fois corrigé pour viser la disparition à terme des émis-



IMPACT DU PROTOCOLE DE MONTRÉAL SUR LA CONCENTRATION FUTURE DE C₁ DANS L'ATMOSPHÈRE, SELON QUATRE SCÉNARIOS: SITUATION SANS RÉGLEMENTATION (A), APRÈS LE PROTOCOLE DE MONTRÉAL (1987) (B), APRÈS L'AMENDEMENT DE LONDRES (1990) (C) ET APRÈS L'AMENDEMENT DE COPENHAGUE (1992) (D). LE NIVEAU CRITIQUE DE C₁, QUI RAMÈNERA LA COUCHE D'OZONE AU-DESSUS DE L'ANTARCTIQUE À SON ÉPAISSEUR NATURELLE ET NE DÉTRUIRA PLUS L'OZONE CHAQUE ANNÉE, NE SERA ATTEINT QU'AU COURS DE LA SECONDE MOITIÉ DU SIÈCLE PROCHAIN.

sions de bromure de méthyle - un pesticide abondamment utilisé en agriculture, qui, de toute évidence, détruit l'ozone. Le Protocole de Montréal et ses amendements furent signés entre-temps par plus de cent pays, dont la Belgique. Les pays du Tiers Monde ont bénéficié, vu leurs besoins spécifiques, d'un délai de 10 ans. Grâce à ce sursis, ils peuvent donc encore légèrement augmenter leur production de CFC. Il fut également prévu de leur accorder une assistance technique et financière supplémentaire, pour les aider à respecter les mesures prescrites.

Outre le Protocole de Montréal (convention internationale), il existe une série de règlements et de directives européennes, ainsi que des réglementations nationales (arrêtés royaux) basés sur - et parfois devançant - les derniers amendements de ce Protocole. Le tableau ci-contre résume

les mesures les plus récentes, adoptées dans le cadre du Protocole de Montréal (et de ses révisions) pour les principaux produits destructeurs d'ozone. Des données relatives à la production et à la consommation indiquent que l'utilisation de CFC et de produits similaires a reculé peu de temps après l'entrée en vigueur du Protocole de Montréal et de ses modifications (voir

MESURES DE CONTRÔLE PRISES DANS LE CADRE DU PROTOCOLE DE MONTRÉAL ET DE SES AMENDEMENTS (LONDRES, COPENHAGUE ET VIENNE)

SUBSTANCES DÉTRUISANT L'OZONE	ARRÊT DE PRODUCTION ET DE CONSOMMATION
Halons	1994
CFC «durs»	1996
HBFC «durs»	1996
Bromure de méthyle	2010
HCFC «doux»	2030

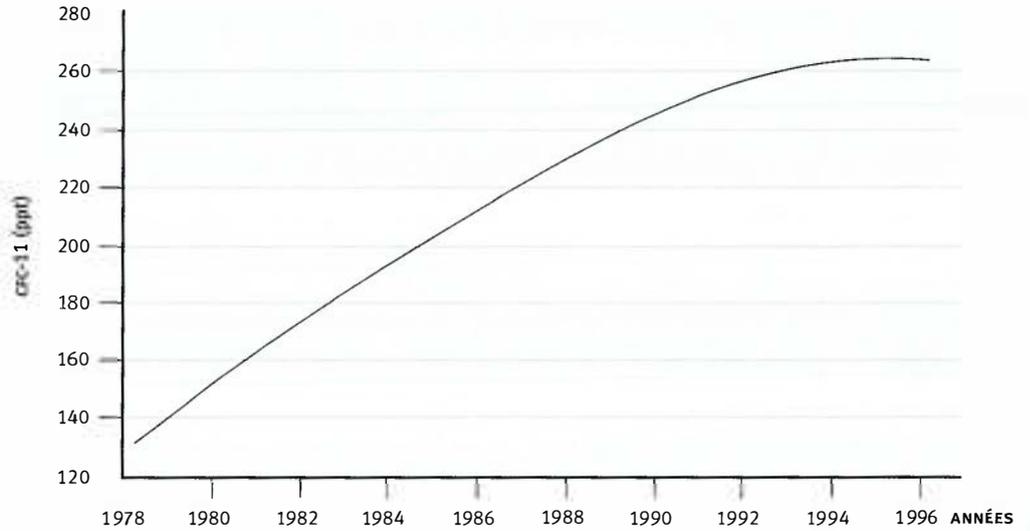
figure p.105). En dix ans de temps, la production mondiale de ces substances destructrices d'ozone a chuté de plus de 50%. Ce résultat ressort également des mesures de la concentration de CFC dans l'atmosphère: après une augmentation débridée au cours des années 70 et 80, on enregistre une baisse depuis le début des années 90. C'est ainsi que depuis 1994, une légère baisse de la concentration de CFC 11 dans la troposphère est constatée à l'échelle mondiale. Cette tendance a également été enregistrée pour d'autres substances de ce type, dont les halons (figure p.107). Etant donné que les fréons mettent quelques années à arriver dans la stratosphère, il faudra attendre quelques temps avant de pouvoir constater, dans cette partie de l'atmosphère, les effets bénéfiques des mesures prises.

L'avenir

A l'heure actuelle, plus de 150 pays respectent le Protocole, et de nombreux pays du Tiers Monde ont l'intention de bannir les substances destructrices d'ozone plus vite que dans le délai prévu par la convention. Cependant, la fin du problème de l'ozone est loin d'être en vue. Dans l'atmosphère, la quantité des substances destructrices continuera à progresser jus-

qu'en 2000 au moins. Ce phénomène s'explique par la libération à retardement des CFC produits. D'énormes quantités de ces substances, dont la production a été arrêtée en 1996 conformément au Protocole de Montréal, sont emprisonnées dans des plastiques durs (matériaux d'isolation), et dans des installations de réfrigération et de climatisation. Ces CFC ne seront rejetés, en raison de fuites ou à la fin du cycle de vie du produit qui les contient, que de nombreuses années après leur production.

En outre, les CFC émis en surabondance dans les années 80 et au début des années 90, n'atteignent qu'aujourd'hui la stratosphère, où ils commencent seulement leur œuvre impitoyable de grignoteurs d'ozone - œuvre qui peut durer des dizaines d'années. Malgré un respect strict du Protocole de Montréal, les concentrations de chlore et de brome resteront problématiques jusque tard dans le XXI^e siècle. Il faudra vraisemblablement vingt ans au moins avant qu'apparaissent les premiers

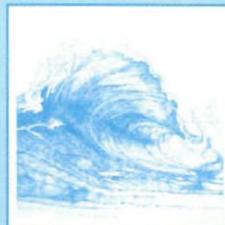


symptômes de rétablissement de la couche d'ozone. Seuls nos petits-enfants, au cours de la seconde moitié du siècle prochain - moyennant une application rigoureuse du protocole - pourront enfin entendre parler d'une couche d'ozone rétablie: une couche d'ozone ayant retrouvé l'état où elle était dans les années septante.

APRÈS UNE CROISSANCE DÉBRIDÉE AU COURS DES ANNÉES 80, LA QUANTITÉ DE CFC 11 DANS LA TROPOSPHÈRE A COMMENCÉ À DÉCROÎTRE LÉGÈREMENT DEPUIS 1994. C'EST AUSSI LE CAS POUR DE NOMBREUSES AUTRES SUBSTANCES DESTRUCTRICES D'OZONE, MAIS PAS POUR TOUTES. LA DIMINUTION DE LA CONCENTRATION STRATOSPHERIQUE DE CES SUBSTANCES ENREGISTRE UN RETARD DE QUELQUES ANNÉES. PAR CONSÉQUENT, ELLE NE COMMENCERA À RECULER QU'AU DÉBUT DU SIÈCLE PROCHAIN.

L'ANTARCTIQUE INVIOUÉ. QUAND LA COUCHE D'OZONE SE RÉTABLIRA-T-ELLE ENFIN?





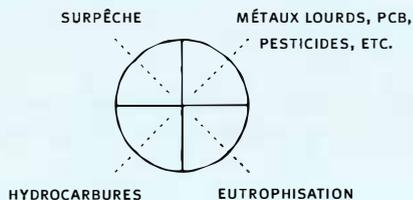
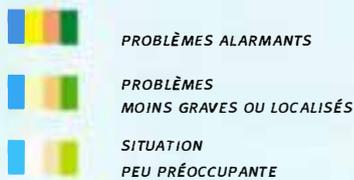
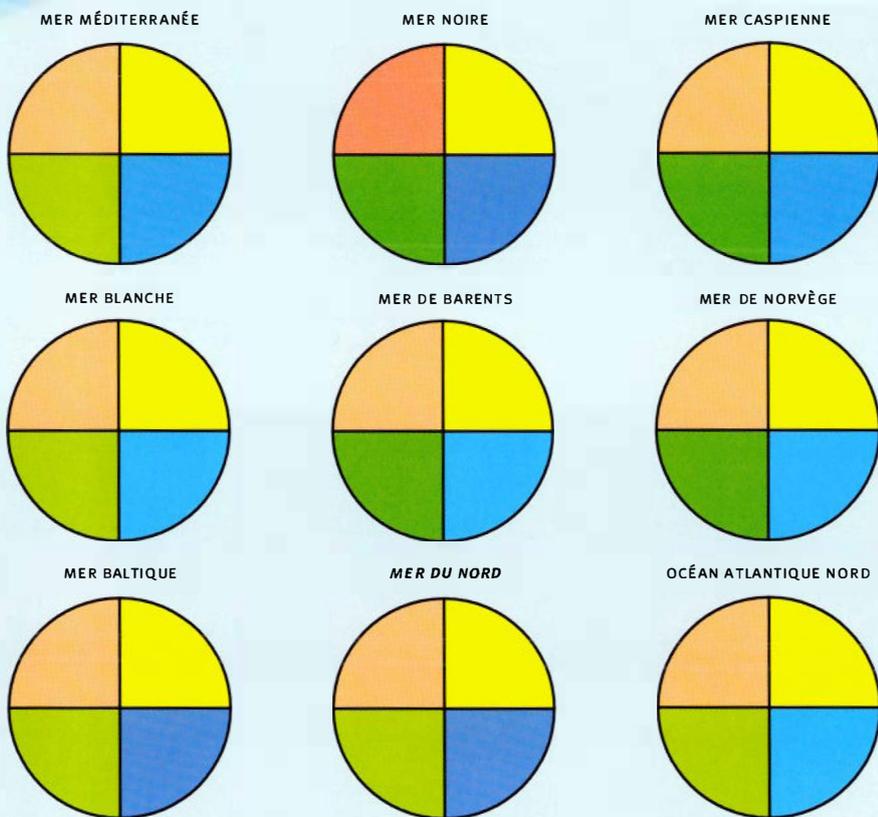
6

La mer du Nord Vide-ordures et garde-manger à la fois

Pollution chronique et surpêche! Voilà les principaux maux dont souffre la mer du Nord. Une petite mer coincée au centre de l'une des régions parmi les plus peuplées de la planète... Une petite mer extrêmement productive dont, pourtant, le renouvellement des stocks de poissons commercialisés se voit menacé par une surexploitation.

POLLUTION MARINE ET SURPÊCHE : UN PROBLÈME MONDIAL!

La mer du Nord n'est malheureusement pas un cas isolé: pratiquement toutes les mers et les océans de la planète souffrent de problèmes identiques, voire bien plus dramatiques! Le schéma ci-contre permet de comparer la situation de la mer du Nord à celle des autres mers européennes.



I Une mer poubelle

Polluants: convois dangereux

Tous les égouts mènent à la mer

Les fleuves qui aboutissent en mer du Nord, ainsi que leurs affluents, drainent une région fortement urbanisée et industrialisée, qui comporte en outre de nombreuses exploitations agricoles intensives (cultures et élevages industriels).

Ces cours d'eau sont fortement contaminés par:

- le déversement des égouts urbains et des eaux usées industrielles, et leur charge d'excréments et de substances chimiques en tous genres. A peu près un tiers du volume total des eaux d'égout qui parviennent en mer du Nord n'a bénéficié d'aucune épuration préalable;
- le ruissellement de l'eau de pluie qui charrie les excédents d'engrais (naturels ou chimiques) et de pesticides épandus sur les champs;
- les écoulements qui se produisent à partir des lieux de stockage des déjections des animaux d'élevage intensif (amas de fumier, fosses à lisier ou à purin, etc.)

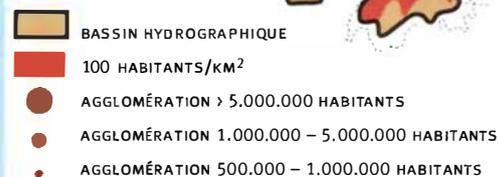
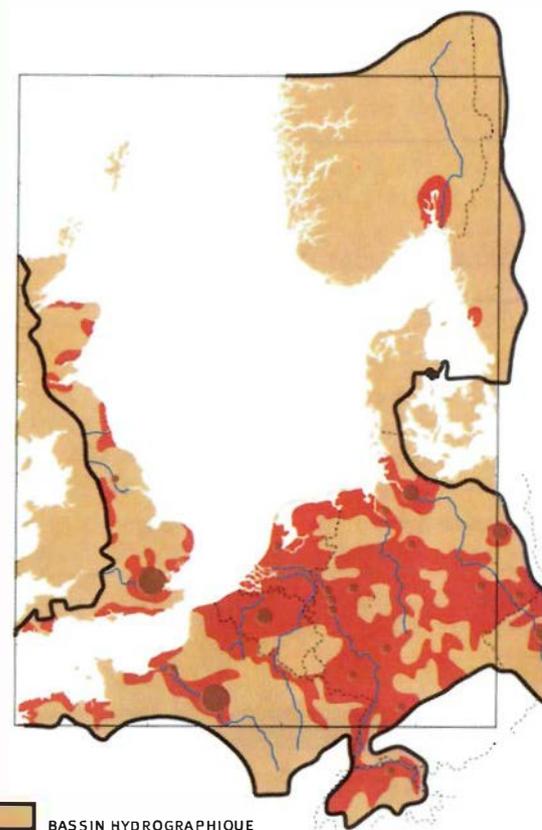
Fleuves et rivières véhiculent, souvent sur de longues distances, leur charge de polluants vers la mer du Nord. Les apports les plus importants sont réalisés par la Seine, la Meuse, l'Escaut, le Rhin, la Weser, l'Elbe, la Tamise et l'Humber.

Les villes, les industries et les exploitations agricoles situées le long du littoral polluent directement les estuaires ou les eaux côtières. Durant la belle saison, le volume des eaux usées déversées par les égouts augmente considérablement, car la mer du Nord attire de très nombreux vacanciers. A titre d'exemple, 4.157.902 nuitées touristiques ont été enregistrées à la côte belge, de juin à septembre 1997.



UNE PARTIE DES POLLUANTS ÉMIS DANS L'ATMOSPHÈRE FINIT PAR RETOMBER DANS LA MER.

TÔT OU TARD, LA POLLUTION DES COURS D'EAU GAGNE LA MER...



CENT SOIXANTE-QUATRE MILLIONS DE PERSONNES VIVENT DANS LE BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE LA MER DU NORD - UN TERRITOIRE DE 850.000 KM².

L'air de rien...

Une partie des polluants émis dans l'atmosphère est transportée par le vent au-dessus de la mer du Nord et y retombe avec la pluie. Les sources de pollution à incriminer sont également industrielles, domestiques et agricoles: cheminées des usines, des habitations et des incinérateurs de déchets; pots d'échappement des véhicules; émanations de pesticides épandus sur les champs; émanations de méthane et d'ammoniac provenant des déjections des animaux d'élevage...

Drague à hauts risques

Le dragage des sédiments sableux et vaseux qui s'accumulent dans les estuaires, les ports et les chenaux de navigation, constitue une opération nécessaire pour maintenir la profondeur d'eau requise pour la navigation. Les déblais de dragage sont déversés dans des zones de la mer du Nord spécialement réservées à cet usage - une opération réalisée par bateau.

Les sédiments provenant des couloirs de navigation sont relativement peu chargés en polluants. Par contre, ceux provenant du dragage des estuaires et des ports sont fortement contaminés, notamment par l'intermédiaire des fleuves. Le transport de ces déblais en mer équivaut donc à étendre la contamination côtière. Une des solutions à ce problème passe inmanquablement par l'amélioration de la qualité des cours d'eau: à fleuves propres, sédiments propres! En 1990, environ 136 millions de tonnes de déblais ont été épandues en mer du Nord, la part provenant des ports s'élevant à 64,5 millions de tonnes.



LES BOUES DRAGUÉES PAR CE BATEAU SONT DÉVERSÉES EN MER, AVEC LEUR CHARGE DE POLLUANTS

LE SOUS-SOL DE LA MER DU NORD EST EXPLOITÉ POUR SES GISEMENTS GAZIERS ET PÉTROLIERS.



Et vogue la galère

Le trafic maritime en mer du Nord est parmi les plus importants au monde: 420.000 mouvements de bateaux y sont enregistrés tous les ans, principalement depuis la Manche en direction de Hambourg, en passant par Dunkerque, Anvers et Rotterdam. Les navires rejettent en mer d'importantes quantités d'hydrocarbures (pétrole, essence, benzine, kérosène, gas-oil, mazout, huiles de graissage, paraffine, etc.), ainsi que des résidus de leurs cargaisons chimiques, des détergents utilisés pour le nettoyage des cales, des déchets ménagers et même du matériel de pêche devenu inutile.

Or noir et déboires

Depuis la fin des années 60, l'exploitation du pétrole et du gaz naturel sous-marins constitue une activité économique majeure en mer du Nord: on y dénombre un peu plus de 300 plates-formes de forage et des milliers de puits de prospection. Quelque 183 millions de m³ de pétrole et 92 milliards de m³ de méthane sont produits chaque année et transportés par 10.000 km d'oléoducs et de gazoducs sous-marins. Cette activité industrielle s'accompagne bien sûr d'importants rejets d'hydrocarbures, mais aussi d'une partie des produits chimiques dont elle fait usage: détergents, solvants, émulsifiants, lubrifiants, inhibiteurs de corrosion, etc.

Trois coups dans l'eau...

L'incinération de produits industriels hautement toxiques, ainsi que les immersions de déchets industriels liquides et des boues d'égout provenant des stations d'épuration côtières, ne sont dorénavant plus pratiquées en mer du Nord. Ces opérations étaient responsables d'une contamination marine importante.

MODES D'APPORTS	MERCURE	CUIVRE	PLOMB	ZINC	PCB	LINDANE	AZOTE	PHOSPHORE
Fleuves	25	1.200	1.000	6 400	2,2	0,9	910.000	48 000
Atmosphère	6,9	740	1.700	5.500	?	9,1?	520.000	?
Rejets côtiers	1,8	290	160	1.300	0,2	0,2	120.000	7 100

SOURCE | OSPARCOM (1992). ESTIMATIONS ESPRIMÉES EN TONNES.

LE TIERCÉ DANS L'ORDRE

Les trois principales voies d'accès des polluants en mer du Nord sont, par ordre d'importance:

- les fleuves,
- l'atmosphère,
- les rejets côtiers. Pour certaines substances polluantes, la plus grande part des apports s'effectue toutefois par retombées atmosphériques.

Letableau ci-dessus fournit, à titre d'exemple, une estimation (en tonnes) des apports de quelques polluants, réalisés en 1990 selon ces trois voies.

barbare pour désigner le fait que leur concentration dans les organismes marins augmente à chaque étage de la pyramide alimentaire marine. De la base de cette pyramide (étage occupé par les algues du plancton), à son sommet (occupé par les oiseaux et les mammifères marins), chaque organisme ingère une quantité croissante de nourriture - et donc une quantité de plus en plus grande de substances nocives. Un empoisonnement alimentaire à la chaîne, en somme!

PESTICIDE À TOUS LES ÉTAGES!

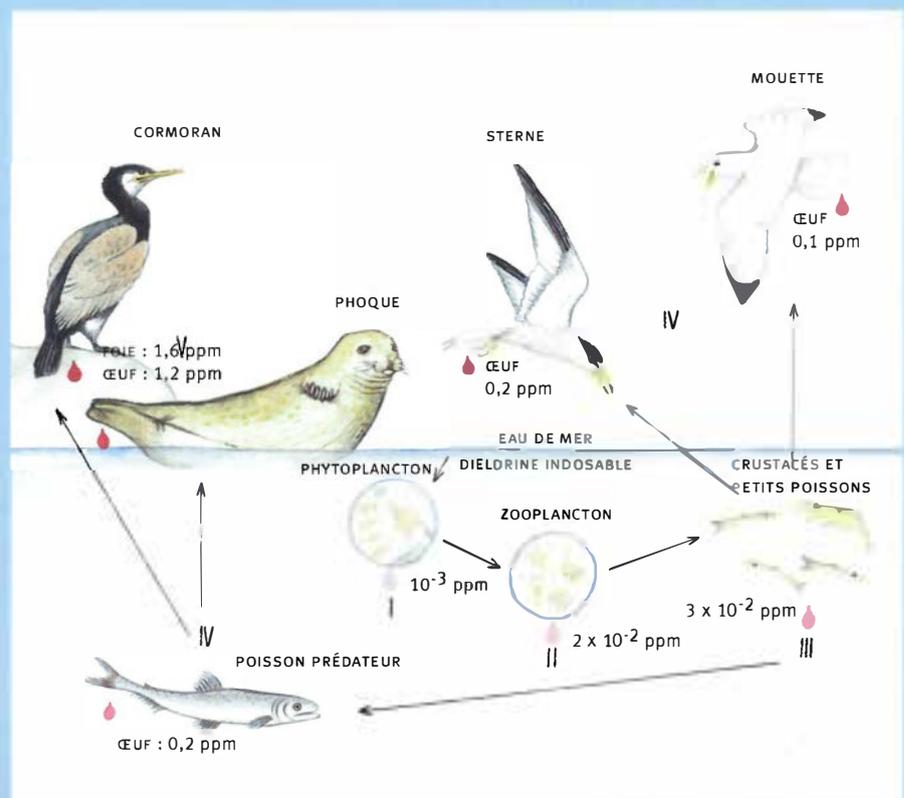
Bien que l'usage de la dieldrine soit interdit en Europe depuis plus de dix ans, ce pesticide contenant du chlore continue à empoisonner l'écosystème de la mer du Nord. Pratiquement indosable dans l'eau de mer, sa concentration s'accroît à chaque maillon de la chaîne alimentaire. A l'extrémité de celle-ci, les cormorans présentent dans leur foie un taux de dieldrine 1.600 fois supérieur à celui observé dans les algues du plancton...

BIOAMPLIFICATION DE LA DIELDRINE.

Métaux lourds, pesticides, PCB et compagnie: un cocktail indigeste

Lentement, mais sûrement!

Les métaux lourds (mercure, plomb, etc.) sont présents en quantités très faibles, voire infimes, dans l'eau de mer. Mais comme ils ne sont pas biodégradables, les organismes marins les accumulent dans leur corps, tout au long de leur vie. Les griefs de l'accusation sont identiques pour ce qui concerne la grande famille des polluants dénommés «composés organiques de synthèse» - des produits de fabrication humaine, à base de carbone (et souvent de chlore, également), comme par exemple les pesticides, les PCB et certains solvants. Ces deux catégories de polluants font l'objet d'une bioamplification - un nom



POLLUTION RIME AVEC BANALISATION

En règle générale, la pollution d'un écosystème induit une grande monotonie de la faune et de la flore. Un nombre élevé d'espèces sensibles sont en effet éliminées, tandis que celles qui résistent aux polluants se développent de manière parfois exubérante. Les espèces très tolérantes sont par conséquent plus ou moins cosmopolites – en d'autres termes, banales – d'où le peu d'intérêt, en terme de biodiversité, des milieux où sévit une pollution chronique.

LA POLLUTION: COUPABLE OU NON COUPABLE?

Les expériences réalisées en laboratoire permettent rarement d'établir un lien de cause à effet indiscutable, entre un polluant et les anomalies constatées au niveau de la flore et de la faune marines. Pourquoi?

– Premièrement, parce qu'il est très compliqué de réaliser des expériences avec des concentrations de polluants aussi faibles que celles présentes dans l'eau de mer. Ces tests devraient en effet s'opérer sur des périodes bien trop longues. Les chercheurs en sont donc généralement réduits à étudier les effets que peuvent provoquer rapidement des doses de polluants de loin supérieures à celles trouvées dans le milieu marin. Or, les effets de ce type d'empoisonnement (une contamination dite aiguë) peuvent être très différents de ceux provoqués par une lente intoxication due à l'accumulation progressive de petites doses de polluants.

– Deuxièmement, parce qu'il est impossible de reconstituer en laboratoire le cocktail de substances polluantes auquel sont confrontés les organismes marins. Or, l'interaction des différents polluants peut avoir des effets qui diffèrent d'une simple addition des effets qu'ils auraient séparément.

Des maux, rien que des maux

Faut-il nécessairement soupçonner la pollution, lorsque les organismes marins souffrent de maladies, de malformations et autres dysfonctionnements? Non! Tous les êtres vivants peuvent être affectés de manière naturelle par ce genre de désagréments. Mais nous sommes en droit de suspecter la toxicité de la pollution, lorsqu'une proportion anormalement élevée de ces manifestations est observée.

contamine une grande partie des eaux de la mer du Nord, mais principalement les ports et les chenaux de navigation. Elle affecte principalement une espèce d'escargots marins: la pourpre petite pierre. En présence de doses homéopathiques de TBT (0,002 µg/litre d'eau), les escargots femelles développent un pénis. Petit à petit, il ne reste plus que des mâles au sein de la population de mollusques. Résultat: la population disparaît, faute de pouvoir



! CAUSE NATURELLE OU EFFETS DE LA POLLUTION? DIFFICILE DE TRANCHER.

Toutefois, présomption n'est pas preuve. Le tributyl-étain (TBT), un pesticide appliqué comme peinture anti-salissures sur la coque des navires, est l'un des rares polluants pour lesquels un lien de cause à effet évident et non contesté a pu être établi entre une contamination chimique et des anomalies observées chez des organismes marins. Cette substance chimique

se reproduire... Ceci s'est produit dans les corridors de navigation très actifs de la partie sud de la mer du Nord, ainsi que dans certaines zones côtières – notamment à la côte belge.

Le TBT a des effets similaires chez d'autres mollusques marins, comme par exemple certaines huîtres et le buccin. Il agit néan-



LES PEINTURES À BASE DE TBT APPLIQUÉES SUR LA COQUE DES NAVIRES ONT FAIT DISPARAÎTRE PLUSIEURS POPULATIONS D'ESCARGOTS MARINS.



moins à des doses plus élevées que chez la pourpre petite pierre, ce qui explique que c'est cet escargot marin que les scientifiques utilisent comme bioindicateur de la contamination marine par le TBT.

Outre «l'affaire TBT», il existe plusieurs cas de suspicions légitimes concernant les effets des métaux lourds et des composés organiques de synthèse. Dans le Sorfjord, en Norvège, on pense que c'est le plomb

rejeté par une fonderie toute proche, qui est responsable de la taille réduite des étoiles de mer dans cette zone côtière. Ces animaux seraient intoxiqués par l'intermédiaire de leur nourriture: des mollusques ayant accumulé dans leur chair de grandes quantités de métal.

Dans certaines zones de la mer du Nord où sont implantées des plates-formes de forage (estuaire de l'Humber, baie alle-

mande, côtes hollandaises et Dogger Bank), les limandes présentent une fréquence anormalement élevée de tumeurs du foie (2,5% de cas, contre une moyenne «naturelle» de 0,5%). Il s'agirait là des effets de composés organiques de synthèse contenant du chlore (PCB entre autres) et de certains hydrocarbures (composés aromatiques polycycliques) rejetés par l'industrie pétrolière et gazière.

L'épidémie virale qui, en 1988, a emporté environ 20% des phoques de la mer du Nord (soit 16.000 individus) pourrait avoir un lien avec un lent empoisonnement de ces animaux par les PCB - une intoxication alimentaire progressive due à l'ingestion de poissons contaminés. Ce soupçon se base sur des expériences de laboratoire qui révèlent que ce polluant provoque une diminution importante du taux de vitamine A - une vitamine essentielle pour assurer à l'organisme une bonne défense immunitaire. Une bonne nouvelle: depuis l'épidémie, le nombre de phoques s'est heureusement pratiquement rétabli. Les PCB seraient également à l'origine des taux anormalement élevés d'avortements spontanés et de naissances prématurées qui affectent les phoques de la mer des Wadden (une zone de la mer du Nord qui borde une portion du littoral néerlandais, allemand et danois). Les PCB agiraient sur les capacités de reproduction des phoques et aussi sur leur résistance aux maladies, à la suite d'une perturbation des mécanismes hormonaux de ces animaux. (Lire à ce propos l'encadré: «A la une: des polluants qui imitent les hormones...»)

Un dernier soupçon: l'échouage de 24 cachalots sur les côtes de la mer du Nord (à Coxyde, sur le rivage des îles Orcades, au nord de l'Ecosse, ainsi que sur les côtes d'Angleterre, de Frise et d'Allemagne), durant l'hiver 94-95, résulterait indirectement d'un empoisonnement multiple par du mercure, du cadmium et des PCB. Ce groupe d'animaux océaniques avait quitté le pôle Nord, pour se rendre vers l'Équateur, avec l'arrivée de la mauvaise saison. Mais ils ont été désorientés et se sont enfoncés par erreur en mer du Nord, pour se retrouver piégés dans ces eaux peu pro-

fondes... N'y trouvant pas à se nourrir, ils ont consommé leurs réserves de graisse, ce qui a libéré dans leur organisme les polluants qui s'y étaient accumulés. Les métaux lourds et les PCB ont alors provoqué une diminution des défenses immunitaires des cétacés. En définitive, ces animaux sont morts d'affaiblissement extrême et de maladie (lésions cutanées, ulcères de la bouche, otite). Bien que la chute de cette histoire se situe en mer du Nord, ses prémices révéleraient un problème plus général: celui de la pollution des océans.

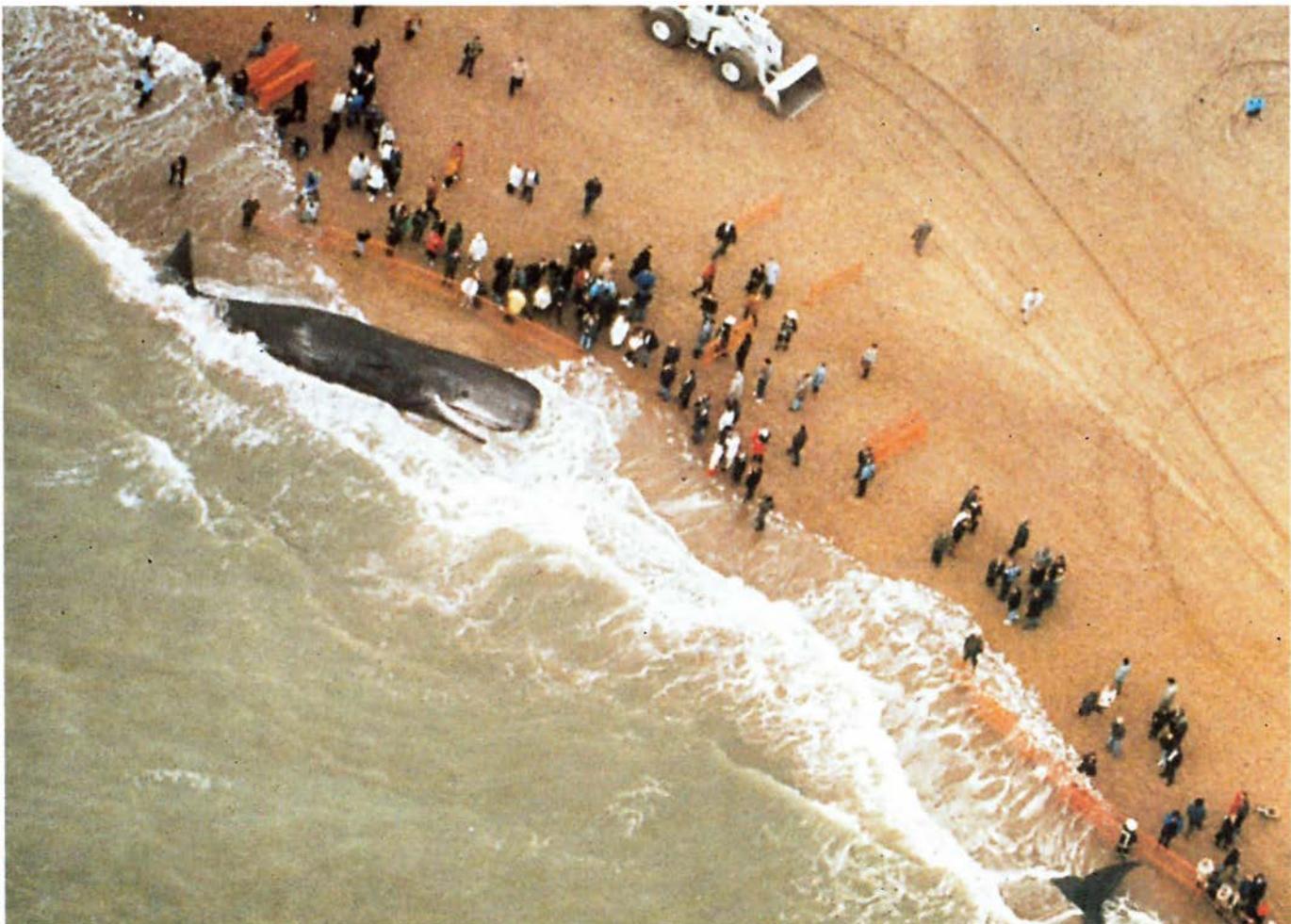
Plusieurs cachalots se sont échoués sur les côtes de la mer du Nord (notamment en Belgique) durant l'hiver 97-98. Mais à l'heure où nous bouclons ce texte, les recherches concernant les causes de ce phénomène n'ont pas encore abouti et nécessiteront du temps.

L'arroseur arrosé

L'homme, situé au sommet de la pyramide alimentaire marine, n'échappe pas au phénomène de bioamplification. Les grands consommateurs de poissons et fruits de mer encourent donc les risques

liés à l'accumulation progressive, dans leur organisme, de métaux lourds et de composés organiques de synthèse.. Petit rappel d'un cas tristement célèbre... Les faits se déroulent dans les années 50, à Minamata, un petit village côtier du Japon. De nombreux cas de paralysie, de perte de la vue et de l'ouïe, et de déchéance intellectuelle y sont recensés. Une cinquantaine de personnes décèdent des suites de cette maladie, tandis qu'une dizaine d'autres s'en sortent, mais en restent invalides. Ce sont là les effets d'une intoxication alimentaire: le poisson pêché dans la baie de

L'ÉCHOUAGE DE CACHALOTS À COXYDE, EN NOVEMBRE 1994, SERAIT LIÉ À UNE INTOXICATION PAR DES MÉTAUX LOURDS ET DES PCB.



Minamata est contaminé par du mercure rejeté par une usine chimique. Présent en quantités infimes dans l'eau, ce métal s'est accumulé tout au long de la chaîne alimentaire marine, pour atteindre chez l'homme une dose mortelle. Bien que ces empoisonnements graves datent des années 50, jusqu'à la fin des années 70, plus de cent cas ont encore été constatés.

À LA UNE: DES POLLUANTS QUI IMITENT LES HORMONES...

Depuis peu, les scientifiques soupçonnent les composés organiques de synthèse de provoquer des dérèglements du système hormonal des animaux et des êtres humains. Les PCB, le TBT et de nombreux pesticides agricoles figurent parmi la longue liste de coupables présumés. Ces polluants ont une structure moléculaire proche de celle des hormones, ce qui leur donne la potentialité de «bluffer» les cellules de l'organisme, en leur fournissant des indications erronées quant au moment et à la façon de se multiplier, de se développer et de produire certaines substances. De nombreux processus biologiques pourraient s'en trouver perturbés: mécanismes de résistance aux maladies, sexualité et fertilité, développement physique et mental des embryons, etc. Chez l'homme, des polluants pseudo-hormonaux sont suspectés d'être, notamment, à l'origine de la baisse de la quantité et de la qualité du sperme enregistrée à l'échelle mondiale au cours des cinquante dernières années, et de l'augmentation de la fréquence de certains cancers (notamment ceux des seins et des testicules). Des tests de dépistage de l'activité hormonale des polluants sont en cours de développement. Mais le principe de précaution s'impose dès à présent: même si l'on ne dispose pas encore de preuves irréfutables, il s'avère urgent d'entreprendre un programme de réduction des substances suspectes et d'adopter en règle générale une production plus propre.

Près de la moitié d'entre eux ont connu une issue fatale.

Depuis cette tragédie, des réglementations destinées à protéger la santé humaine ont été édictées un peu partout dans le monde. En Belgique, par exemple, la qualité des produits marins proposés à la vente est vérifiée par le Service des Denrées alimentaires du Ministère de la Santé publique - quel que soit le lieu d'origine de ces produits. Une interdiction de vente frappe ainsi les poissons, mollusques et crustacés dont la teneur en polluants dépasse les normes établies. C'est par exemple le cas des prises de pêche dans certains fjords norvégiens, et des flets et anguilles provenant de l'estuaire de l'Elbe.

Malgré tout, de nombreux scientifiques estiment que les tests de dépistage toxicologiques, tels qu'ils sont actuellement conçus, ne permettent pas de déterminer les risques réels pour notre santé. Leur argument: ces méthodes évaluent séparément la toxicité aiguë de chaque polluant, alors que nous sommes exposés de façon chronique à un savant mélange de contaminants. Et malheureusement, un mélange peut se révéler actif alors que la dose de chacun de ses composants ne l'est pas.

Pétrole et cetera

Au banc des accusés

Les navires qui sillonnent la mer du Nord endossent la plus lourde responsabilité de la pollution par le pétrole et d'autres hydrocarbures. Les spectaculaires marées noires provoquées par des accidents de tankers ne représentent qu'un faible pour-



DES AVIONS DOTÉS D'INSTRUMENTS DE TÉLÉDETECTION (RADAR, SENSEURS INFRAROUGE ET ULTRAVIOLET,...) SONT CHARGÉS DE SURVEILLER LES POLLUTIONS CAUSÉES PAR LE TRAFIC MARITIME, DE JOUR COMME DE NUIT.

centage des déversements dus à la navigation. En réalité, la plus grande partie provient d'opérations en apparence plus anodines, effectuées au quotidien par les bateaux: vidange des huiles de moteurs, nettoyage des réservoirs de mazout, nettoyage des citernes des pétroliers, etc. Ces rejets d'hydrocarbures sont strictement réglementés. Ils ne peuvent être effectués qu'en dehors des eaux territoriales, c.-à-d. à douze miles marins (environ 24 km) des côtes et doivent être extrêmement dilués (concentration de 15 ppm, soit une teneur de 15 parts par million de parts). Cependant, les marins opèrent couramment dans l'illégalité, principalement pendant la nuit. Leurs forfaits se marquent par la présence de nappes sombres flottant à la surface de la mer.

Les fleuves, avec leur charge d'essence, d'huiles de vidanges, d'hydrocarbures d'origine industrielle (entre autres) représentent la seconde source de contamination la plus importante en mer du Nord.

L'industrie du pétrole et du gaz sous-marins se place en troisième position. La part des déversements accidentels est mineure et la pollution est essentiellement due aux fuites «normales» qui se produisent à toutes les phases de cette exploitation. Le stockage des déblais de forage sur les fonds marins et le brûlage des gaz à la torchère constituent d'importantes sources d'hydrocarbures. Enfin, des pertes d'hydrocarbures ont également lieu au niveau des terminaux pétroliers et des raffineries côtières (vannes, joints, etc.)

Bonne nouvelle: il est actuellement question que la mer du Nord soit reconnue au niveau mondial, comme une «zone spéciale» où tout déversement d'hydrocarbures sera interdit.

Le réquisitoire

Les nappes d'hydrocarbures déversées par les navires à la surface de la mer tuent, chaque année, des dizaines de milliers d'oiseaux résidant en permanence ou de manière saisonnière en mer du Nord: fous de Bassan, macareux moines, petits pingouins, guillemots de Troil, divers goélands et mouettes, canards marins, etc. Des oiseaux migrateurs de passage, dont les

APPORTS ANNUELS D'HYDROCARBURES EN MER DU NORD

SOURCES	EN TONNES	EN % DU TOTAL
Navires	100.000	39
Fleuves	80.000	31
Plates-formes pétrolières et gazières	29.000	11
Retombées atmosphériques (pollution automobile, etc.)	20.000	8
Égouts côtiers	14.000	5
Rejets industriels côtiers	9.000	3
Raffineries pétrolières côtières	6.000	2
Terminaux pétroliers	800	1
Suintements naturels (à partir de gisements pétroliers sous-marins)	800	1
Total	259.600	100

SOURCE | COMMISSION EUROPÉENNE. L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT DANS LA COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE, 1992.

sternes, paient également un lourd tribut à cette pollution. Victimes aussi, des oiseaux qui hivernent normalement en eau douce, mais qui s'installent à la côte quand les étangs et autres plans d'eau intérieurs sont gelés: grèbes huppés, grands cormorans, foulques macroules, etc.

CE FOU DE BASSAN FIGURE PARMIS LA LONGUE LISTE DES VICTIMES DU MAZOUTAGE.



DU GOUDRON ET DES PLUMES!

Lorsque le plumage d'un oiseau est imprégné d'hydrocarbures (pétrole, mazout, huile, goudron,...), il perd ses propriétés d'isolant thermique. Le corps de l'animal est alors en contact direct avec l'eau froide. Pour compenser les importantes pertes de calories qu'il subit, l'oiseau doit obligatoirement s'alimenter beaucoup plus qu'en temps normal - faute de quoi, il meurt plus ou moins rapidement de froid ou de faim. Or, il est gêné dans sa quête

de nourriture, car son plumage souillé et alourdi l'empêche de voler, de nager ou de plonger efficacement. Les morts les plus nombreuses s'observent surtout de novembre à mars, avec un pic de janvier à février. Ceci s'explique par la rigueur du climat et la précarité de l'alimentation pendant cette période de l'année. Dans une eau à 4°C, un oiseau complètement barbouillé d'hydrocarbures meurt de froid en quelques heures. Une simple tache de 3 centimètres de diamètre peut, à terme, lui être fata-

le. Autre source de problèmes: l'oiseau ingère des hydrocarbures lors du nettoyage et du lissage de ses plumes. Sa muqueuse gastro-intestinale est alors tapissée d'une pellicule grasse, qui freine l'absorption de l'eau et des aliments. La diarrhée qui s'ensuit accentue l'affaiblissement de l'oiseau. Enfin, peut aussi être intoxiqué par l'inhalation des composés volatils toxiques qui émanent des hydrocarbures. Congestion pulmonaire ou pneumonie mortelle sont au rendez-vous...

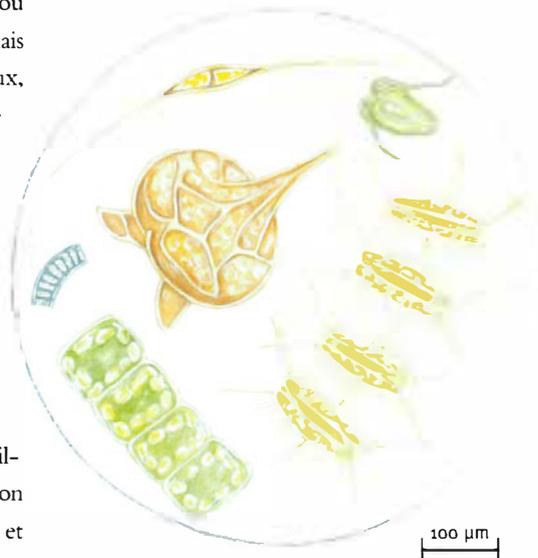
Aux abords des sites d'extraction de pétrole et de gaz naturel, l'importance de la contamination de l'eau par les hydrocarbures affecte l'abondance du plancton et la vitalité des œufs et des larves de certains poissons. Sur les fonds marins, le stockage des déblais de forage asphyxie les algues, les vers, les étoiles de mer, les crevettes, les coquillages, etc. Ces zones se transforment en déserts aquatiques. Les hydrocarbures qui se dégagent de ces déblais affectent les organismes marins qui vivent sur les fonds, sur une aire qui s'étend de 200 à 5.000 mètres à la ronde. Pour l'ensemble de la mer du Nord, 1.900 à 4.500 km² de sédiments (peut-être même 8.000 km²) sont touchés!

Nitrates, phosphates et consorts

Le nœud du problème

Depuis plus d'une trentaine d'années, les cultures et les élevages intensifs, les industries, les habitations et les moyens de transport rejettent, dans l'air et dans les cours d'eau, des substances à base d'azote et/ou de phosphore: nitrates et phosphates, mais aussi excréments humains et animaux, débris alimentaires, agent anticalcaire des produits de lessive, oxydes d'azote (gaz d'échappement, cheminées des maisons et des usines, etc.) Ces rejets parviennent en mer par la voie fluviale et les retombées atmosphériques, ou sont opérés directement le long des côtes. Pour se faire une idée de l'importance de ces rejets: en 1990, la mer du Nord a englouti plus d'un million et demi de tonnes d'azote et environ 55.000 tonnes de phosphore... L'azote et le phosphore jouent un rôle important dans la nutrition des algues marines (et des végétaux en règle générale). Mais sous

l'impact des activités humaines, les eaux de la mer du Nord s'enrichissent à l'excès. Le terme eutrophisation, du grec «eu» (bon) et «trophê» (nourriture), désigne cette fertilisation du milieu marin. Les apports phosphorés et azotés qui parviennent en zones côtières (par l'intermédiaire des fleuves ou par des déversements opérés directement le long du littoral) sont de loin supérieurs à ceux qui affectent l'ensemble de la mer du Nord par le biais des retombées atmosphériques. (voir le tableau p.111). Pour cette raison, l'eutrophisation est principalement un problème côtier. A qui profite ce surplus de nourriture? Surtout aux micro-algues du plancton (phytoplancton) – des organismes unicellulaires, parfois associés en minuscules colonies, qui flottent librement à la surface de la mer. Pourquoi? Parce que, contrairement aux apparences, ce ne sont pas les grandes algues enracinées sur les fonds, qui sont les principaux représentants des végétaux en milieu marin.



|| CETTE COMMUNAUTÉ D'ALGUES MINUSCULES APPARTIENT AU PLANCTON MARIN.

UN SUBTIL ÉQUILIBRE ALIMENTAIRE MIS À MAL

Pour se développer, les algues du plancton ont besoin d'azote et de phosphore, et certaines d'entre elles (les diatomées) exigent de plus de la silice. Pour favoriser la croissance de l'ensemble de la communauté planctonique, ces trois éléments nutritifs doivent être présents dans l'eau en proportions bien définies. Or, la pollution perturbe fortement ce mélange délicat. D'une part, elle ne fournit pratiquement pas de silice et d'autre part, l'apport d'azote est démesurée par rapport à celui de phosphore. La composition du phytoplancton en est donc fortement perturbée, certaines algues se développant au détriment des autres. Les diatomées, par exemple, figurent parmi les perdantes.

Normalement, le développement du phytoplancton se caractérise par un boom au printemps, se stabilise en été et s'arrête à la fin de l'automne. Mais voilà: la pollution nutritive augmente considérablement l'intensité, la durée et la fréquence des proliférations de ces algues. On pourrait croire que le foisonnement du plancton végétal, qui constitue le premier maillon de la chaîne alimentaire marine, va permettre la prolifération du plancton animal (ou zooplancton), des mollusques, des crustacés, des poissons, etc. et donc avoir un effet bénéfique sur les prises de pêche. Mais il n'en est rien, que du contraire! La multiplication de ces microalgues s'accompagne d'une série de nuisances pour l'écosystème marin et pour les hommes. A l'origine d'une bonne part de ces problèmes: le développement d'algues toxiques ou immangeables pour le zooplancton.

Minuscules et néanmoins redoutables!

Le déséquilibre nutritif causé par la pollution favorise la prolifération de micro-algues toxiques. Les substances empoisonnées (ou toxines) qu'elles produisent se propagent dans la chaîne alimentaire marine, au fil de l'ingestion de proies contaminées. Si certains organismes n'en pâtissent pas, ils causent toutefois de sérieux problèmes à leur prédateurs...

Dans le collimateur: *Dinophysis*, dont le poison provoque des diarrhées et des vomissements, ainsi que des maux de tête et de la fièvre chez les humains ; *Alexandrium*, dont la toxine est responsable, chez les poissons, les oiseaux marins et l'homme, de paralysies musculaires pouvant entraîner la mort.

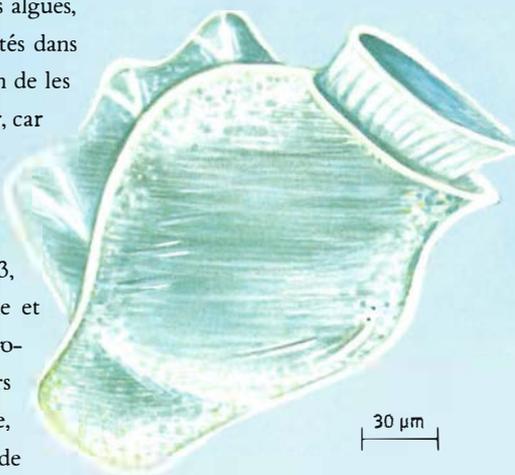
Les poissons, les calmars, les homards et les crabes contaminés ne représentent qu'un risque minime pour notre santé, car les toxines sont localisées dans leurs viscères – une partie que nous ne consommons généralement pas. Les principaux risques d'empoisonnement alimentaire que nous encourons sont liés aux mollusques bivalves (moules, huîtres, coquilles Saint-Jacques, palourdes,...) qui, étant peu sensibles aux toxines produites par les algues, en accumulent de grandes quantités dans leur chair. Quelle que soit la façon de les déguster, ils constituent un danger, car les substances toxiques résistent à la chaleur de la cuisson. De graves problèmes se sont déjà posés. Exemple: en France, en 1983, des moules provenant de Bretagne et de Normandie ont causé des problèmes intestinaux chez plusieurs milliers de personnes. En Norvège, la présence récurrente d'algues de type *Dinophysis* a fait périr l'élevage industriel des moules.

Indigestes, non. Mais immangeables...

Dans la baie Sud de la mer du Nord, la perturbation des caractéristiques nutritives des eaux côtières profite également à des micro-algues dénommées *Phaeocystis*. Celles-ci se présentent sous la forme de colonies sphériques de 1 à 2 mm de diamètre, enveloppées d'un mucus gélatineux. Leur pullulation ne bénéficie malheureusement pas aux crustacés microscopiques et autres organismes herbivores du zooplancton, car leur taille excède celle de l'orifice buccal de ces minuscules animaux. *Phaeocystis* se développe dès lors sans limitation, jusqu'à devenir envahissante...

Et c'est à titre posthume que ces algues nous dérangent. En effet, leur décomposition libère la gelée qui les enrobait. Cette substance, fouettée par les vagues, se transforme alors en écume mousseuse et malodorante, qui vient s'échouer en gros amas sur les plages.

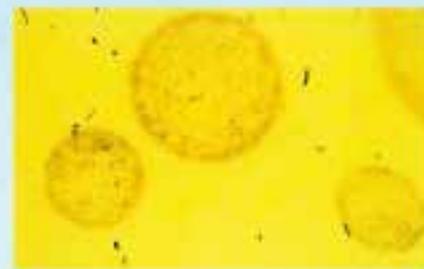
A la côte belge, il s'agit là de la seule manifestation de l'eutrophisation que nous ayons eu à subir jusqu'à présent.



CETTE MICRO-ALGUE TOXIQUE EMPOISONNE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE MARINE.



CES ALGUES GÉLATINEUSES, DU GENRE *PHAEOCYSTIS*, SE DÉVELOPPENT DE MANIÈRE ANARCHIQUE EN RAISON DE LA POLLUTION NUTRITIVE... ET FINISSENT SUR LES PLAGES EN DÉPÔTS D'ÉCUME NAUSÉABONDE.



Fonds marins cherchent désespérément oxygène...

Une bonne partie du plancton végétal non consommé par le zooplancton, notamment des *Phaeocystis*, finit par se déposer sur le fond marin... où les bactéries décomposeuses en font leur délice. Mais le travail de ces «bons microbes» qui digèrent les matières mortes, consomme de l'oxygène. A repas plantureux, consommation d'une importante quantité d'oxygène dissous dans l'eau! Sur les fonds côtiers, la concentration en oxygène diminue rapidement, parfois jusqu'à la pénurie. Cela signifie la mort pour les mollusques, les crustacés et les autres animaux qui vivent sur ou dans les sédiments, ainsi que pour les poissons qui nagent dans les eaux profondes.

Le brassage de l'eau par les courants marins permet généralement un réapprovisionnement des fonds côtiers en oxygène, à partir de la surface, en contact avec l'atmosphère. Néanmoins, certaines zones de la mer du Nord se caractérisent par une insuffisance temporaire ou permanente du mélange vertical des eaux, due notamment à des courants trop faibles: c'est là que se produisent les déficits en oxygène (ou anoxies)...



ZONES DE LA MER DU NORD SUJETTES AUX DÉFICIENCES EN OXYGÈNE.

La grande bleue... saignée à blanc

La mer du Nord constitue l'une des zones de pêche parmi les plus productives du monde. Elle rapporte en effet 5% des captures mondiales, alors qu'elle ne représente que 0,2% de la surface totale des mers et des océans de notre planète.

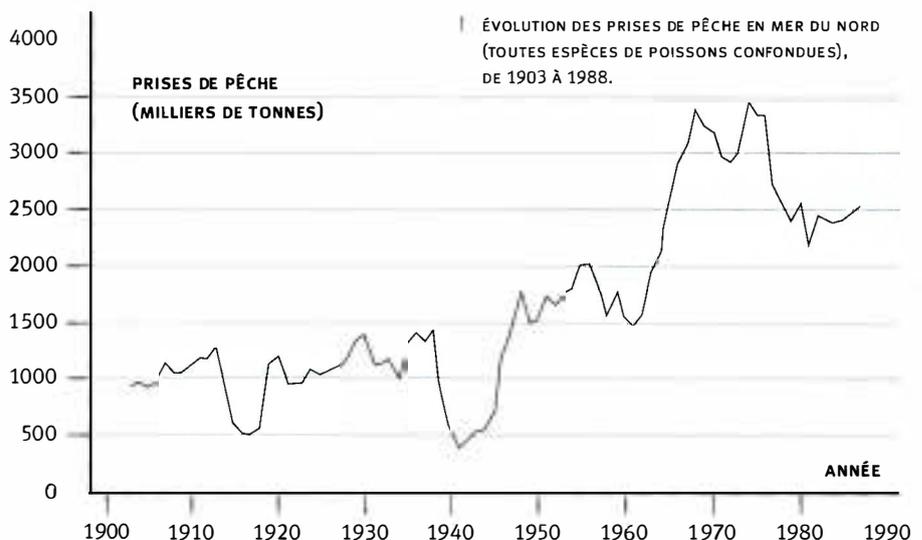
En raison de l'amélioration des techniques de capture et de l'augmentation de l'effort de pêche (nombre, taille et puissance des navires, etc.), les prises annuelles sont passées de 1 million de tonnes au début de ce siècle à plus de 3 millions dans la seconde moitié des années 60 - soit environ un tiers du poids total (ou biomasse) des poissons présents en mer du Nord!

A partir du milieu des années 70, la quantité de poissons ramenés à quai a diminué graduellement, pour atteindre environ 2,5 millions de tonnes ces dernières années. (La moitié de ces prises est réalisée par les pêcheries dites «industrielles», qui capturent des poissons de petite taille - essentiellement le lançon, le tacaud norvégien et le

sprat - pour en faire de la farine ou de l'huile). Ce déclin est dû au fait que la plupart des stocks de poissons commercialisés ont vraisemblablement atteint un niveau d'exploitation critique, qui menace leurs capacités de renouvellement. Les craintes les plus sérieuses concernent les harengs et les cabillauds, dont les effectifs semblent sur le point de s'effondrer. (De 1977 à 1982 déjà, les pêcheries de harengs avaient dû être fermées afin de régénérer des stocks épuisés.) L'état des stocks d'aiglefin, de lieus noirs, de merlans, de plies, de maquereaux, de soles et de merlus est également très préoccupant.

PETIT POISSON... DEVIENDRA GRAND?

Il y a surpêche, lorsque les prises sont disproportionnées par rapport aux capacités de régénération du stock de poissons. Parce qu'un trop grand nombre d'individus en âge de se reproduire (les géniteurs) sont capturés. Mais aussi parce que la pêche est le plus souvent non sélective: des mailles trop petites capturent en même temps un nombre excessif de poissons n'ayant pas terminé leur croissance et n'ayant donc pas encore atteint le stade reproductif (les juvéniles).



La pêche a également un impact néfaste sur les espèces de poissons non commercialisées, capturées incidemment par des filets non sélectifs. On constate ainsi que les raies et les requins se font plus rares en mer du Nord et que la vive a disparu localement sur les côtes néerlandaises. Des oiseaux et des mammifères marins (marsouins, phoques, dauphins) figurent aussi parmi les prises fortuites: ces animaux s'empêtrent dans les filets et meurent par noyade. Les captures accidentelles de marsouins, par exemple, s'avèrent inquiétantes car cette espèce connaît un déclin important en mer du Nord.

LA PART DES RESPONSABILITÉS BELGES

Trois pays se partagent la plus grande part des captures de pêche en mer du Nord: le Danemark (50% des prises), la Norvège (20%) et la Grande-Bretagne (15%).

En revanche, les pêcheurs belges ne s'attribuent qu'environ 1% de la récolte totale. Pourtant, même si notre flotte de pêche n'endosse pas une lourde responsabilité dans la surexploitation des ressources vivantes de la mer du Nord, elle participe aussi à la dégradation de l'environnement marin. En effet, plus de 80% de nos navires pratiquent le chalutage de fond. Or, cette technique est responsable de la mort d'un grand nombre de mollusques, crustacés, étoiles de mer, vers et autres organismes des fonds marins, et perturbe fortement la couche superficielle des sédiments. Le milieu de vie des survivants en est donc profondément dégradé.

LA PÊCHE MONDIALE: NÉCESSITÉ ABSOLUE D'UNE GESTION DURABLE!

Les produits de la mer constituent une ressource renouvelable, dont l'homme peut bénéficier indéfiniment s'il gère et exploite l'écosystème marin de manière raisonnable. Cependant, l'état des stocks de poissons exploités par l'homme n'est pas seulement influencé par la pollution et la dégradation générale de l'environnement marin, il est également soumis à une pêche intensive.

A l'échelle de la planète, les captures ont plus que quadruplé entre 1950 et 1989. Ceci s'explique par l'augmentation de l'effort de pêche, mais aussi par l'exploitation de nouvelles mers et d'espèces délaissées auparavant. Aujourd'hui, les poissons n'ont plus beaucoup de chances d'échapper aux filets: leurs bancs sont localisés par sonar, par avion ou même par satellite; des filets dérivants de plusieurs kilomètres de long ou d'immenses chaluts, au maillage réduit, sont couramment utilisés, etc.

Depuis le début des années 90, la croissance mondiale des prises a cédé la place à une stagnation, voire au déclin. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), la plupart des stocks de poissons marins subissent, de par le monde, un niveau d'exploitation maximum. Ils s'épuiseront irrémédiablement si les capacités de captures ne sont pas limitées. L'amélioration de la gestion de la pêche ne suffira néanmoins pas à couvrir les besoins d'une population mondiale en expansion. Il sera également nécessaire de se tourner vers des espèces pas encore recherchées ou destinées à l'alimentation du bétail, et de développer les élevages de poissons. L'aquaculture est d'ores et déjà engagée sur la voie d'un important développement. D'ici quelques années, sa productivité devrait dépasser celle de la pêche.

| L'union fait la force

Contre la pollution

La mer du Nord est malade de pollution! Ce constat s'avère d'autant plus douloureux que des efforts internationaux tentent de remédier à cette situation depuis les années 70... Pour ne citer que trois exemples:

- La Convention d'Oslo, qui date de 1974, concerne la prévention de la pollution provoquée par les opérations d'immersion de déchets industriels, des déblais de dragage et de boues d'égouts, ainsi que par les opérations d'incinération de déchets en mer;
 - La Convention de Paris, appliquée depuis 1978, a pour objectif de réduire les apports en mer de polluants par les cours d'eau, les rejets côtiers, l'atmosphère et l'industrie du pétrole et du gaz sous-marins.
- Ces deux premières conventions ont été «dépoussiérées» et remplacées par la Convention OSPAR, entrée en vigueur le 25 mars 1998.
- La Convention MARPOL (1973-1978) combat les rejets d'hydrocarbures opérés par les bateaux.

Ce qui suit retrace, en quatre actes, la petite histoire d'une grande prise de conscience relayée par des mesures concrètes.

Premier acte: en 1984, à l'occasion d'une conférence internationale, les ministres des huit pays riverains de la mer du Nord et le membre de la Commission des Communautés Européennes chargés de la protection de l'environnement, reconnaissent la faiblesse des résultats obtenus et la nécessité de prendre des mesures plus énergiques. Ils décident de se réunir tous les trois à cinq ans, pour faire le point.

Deuxième acte: en 1987, ils créent un groupe spécial international, dont la tâche consistera à combler les lacunes des connaissances scientifiques des impacts de l'homme sur l'écosystème marin - en termes de pollution, mais également de surpêche et de destruction des habitats marins et côtiers. Le «Groupe d'intervention mer du Nord» (en anglais: «North Sea Task Force») commencera ses travaux à la fin de l'année 1988. Son objectif global: établir un bilan de santé complet de la mer du Nord, permettant de définir des mesures de protection stratégiques et d'évaluer l'efficacité de celles déjà prises.

L'une des facettes de sa mission: chiffrer les apports de polluants, déterminer leur mode de dispersion et leurs effets sur les organismes marins.

L'année 1987 est à marquer d'une pierre blanche. En effet, les pays riverains de la mer du Nord adoptent le «principe de précaution». En d'autres termes, ils admettent la nécessité de réduire, voire même d'interdire les rejets des polluants suspectés de représenter un danger pour l'écosystème marin, avant même d'en disposer de la preuve formelle. Il s'agit de minimiser les risques, car l'accumulation

UN LABORATOIRE FLOTTANT

Depuis 1984, notre pays dispose d'un navire océanographique qui lui permet de contribuer au programme international d'étude et de surveillance de la mer du Nord.

Le Belgica - tel est son nom de baptême - est la propriété du Ministère de la Politique scientifique et est géré par un département de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique: l'UGMM (Unité de Gestion du Modèle mathématique de la mer du Nord et de l'estuaire de l'Escaut).

Cent quatre-vingt jours par an, une vingtaine d'équipes de chercheurs de diverses disciplines se relaient afin d'analyser des échantillons d'eau, d'air, de sédiments et d'organismes marins (algues, poissons, animaux des fonds marins, etc.) Le Belgica dispose ainsi de plusieurs laboratoires scientifiques et d'un équipement de pêche.

Au programme d'études: l'évolution de la teneur des polluants chimiques dans le milieu marin, leurs effets toxiques sur les organismes vivants, le suivi de l'étalement des nappes d'hydrocarbures, l'eutrophisation des eaux côtières, l'évaluation des stocks de poissons, l'amélioration des techniques de pêche, etc.

des contaminants dans la chaîne alimentaire marine est si progressive, que les dommages dus à leur éventuelle toxicité ne se manifestent que tardivement. De plus, les effets de substances difficilement biodégradables persistent de nombreuses années après la diminution voire la cessation de leurs rejets.

| LE BELGICA, UN NAVIRE POUR LA RECHERCHE.



Troisième acte: en 1990, la conférence interministérielle se fixe un enjeu de taille. Il s'agit de parvenir, en 1995, à réduire au moins de moitié par rapport à 1985, les apports fluviaux d'azote et de phosphore, ainsi que l'ensemble des arrivées en mer de 36 polluants toxiques qui, en raison de leur persistance, peuvent s'accumuler dans les organismes vivants. Cette décision concerne principalement des métaux lourds et des composés organiques de synthèse, comme par exemple les solvants chlorés et les pesticides.

DES MESURES CONCRÈTES

Concernant le secteur industriel: des normes de rejets atmosphériques et aquatiques plus strictes ont été imposées aux industries. Ceci les a incité à investir des sommes importantes, d'une part dans l'amélioration du traitement des déchets et de l'épuration de leurs eaux usées et d'autre part, dans la mise au point de processus de fabrication plus propres et dans la recherche de produits de substitution ayant moins d'impacts néfastes sur l'environnement. Le cas des PCB est exemplaire: la législation européenne a interdit leur production industrielle et décidé de détruire, d'ici 2010, les équipements et produits contaminés (essentiellement des appareils électriques et électroménagers, ainsi que des luminaires).

Concernant le secteur agricole: des Directives communautaires tentent lutter contre l'utilisation abusive de pesticides et contre la pollution des cours d'eau par les engrais et les déjections des animaux d'élevage. Le contrôle des déversements illégaux réalisés par les éleveurs a été renforcé.

Concernant la vie quotidienne: une directive européenne prévoit d'augmenter le nombre de

Quatrième acte: en 1995, une quatrième réunion interministérielle fait le point sur les résultats obtenus:

- les nouvelles sont plutôt bonnes pour ce qui est de la réduction des apports de substances toxiques. La Belgique, par exemple, est parvenue à atteindre l'objectif de diminution pour 28 des 36 polluants;
- presque tous les Etats riverains de la mer du Nord ont remporté le pari de la diminution des arrivées de phosphore par voie fluviale. Mais aucun pays n'a

stations d'épuration des eaux usées et de les doter progressivement d'un système permettant d'éliminer l'azote et le phosphore (épuration dite 'tertiaire'). La teneur en plomb de l'essence a été réduite, de même que la quantité de phosphates présents comme agents anticalcaire dans les produits de lessive.

Concernant la pollution réalisée directement en milieu marin: l'incinération et l'immersion de déchets industriels en mer du Nord sont interdites, respectivement depuis 1991 et 1992. Des normes plus exigeantes ont été appliquées à l'industrie gazière et pétrolière, par rapport aux rejets d'hydrocarbures et des diverses substances chimiques dont elle fait usage. Les navires se sont notamment vu imposer des règles plus strictes de chargement et de déchargement de produits chimiques, des restrictions de l'utilisation de peintures anti-salissures à base de TBT, ainsi qu'un renforcement de la surveillance aérienne des rejets illégaux d'hydrocarbures. Dans le même temps, de nouvelles installations de récolte des huiles de vidange et autres substances de ce type ont été mises à leur disposition sur les côtes.

CHACUN DE NOUS DOIT ACCEPTER DE SE MOUILLER

Tout citoyen a son rôle à jouer dans la réduction de la pollution marine. Nos comportements quotidiens – et en particulier nos gaspillages en tous genres – sont à repenser fondamentalement. Impossible ici, d'en dresser une liste exhaustive, quelques exemples suffiront:

- Laisser tourner le moteur de notre voiture pendant un arrêt prolongé, rejette inutilement dans l'atmosphère des hydrocarbures, des métaux lourds et des oxydes d'azote, dont une partie finira par retomber à la surface de la mer.
- Epancher dans nos jardins des pesticides et des excès d'engrais pollue la nappe phréatique, qui alimente elle-même un ou plusieurs cours d'eau... qui aboutiront en milieu marin.
- Notre pays ne dispose pas d'un nombre suffisant de stations d'épuration. Faire fonctionner notre lessiveuse et notre lave-vaisselle à moitié pleins rejette donc inutilement des détergents dans les rivières... qui finissent à la mer. Plutôt que d'ouvrir notre parapluie, acceptons de nous mouiller pour protéger notre environnement!

réussi à réduire les apports d'azote par voie d'eau, ce qui met largement en cause l'insuffisance des résultats obtenus dans le secteur agricole.

En outre, ces résultats sont contrecarrés par l'augmentation des retombées atmosphériques d'azote. Les émissions d'ammoniac par les élevages intensifs et les rejets d'oxydes d'azote liées au trafic routier ont en effet augmenté entre 1985 et 1995.

- malgré les mesures prises, la pollution marine par les hydrocarbures ne semble pas avoir baissé, et le nombre d'oiseaux mazoutés trouvés sur le littoral n'a pas reculé.

Ces résultats sont dans une certaine mesure encourageants, mais les efforts doivent se poursuivre et dans certains cas, s'intensifier. Le nouveau challenge pour l'an 2000: réduire les apports des divers contaminants à des niveaux inoffensifs pour la vie marine et la santé humaine. Malheureusement, même en cas de réussite, les polluants peu biodégradables, qui se sont pendant des années accumulés dans l'eau, les sédiments et les organismes vivants, continueront encore longtemps à empoisonner notre vie avec celle de l'écosystème marin...

Contre la surpêche

Garantir l'exploitation durable des ressources marines... C'est bien là, depuis 1983, l'objectif de la Politique Commune de la Pêche (PCP). Pour y parvenir, une série de mesures limitent l'ampleur des captures, tandis que d'autres réglementent les modes de pêche.

Pêcher moins...

Le «système des TAC» constitue la principale méthode de lutte contre la surpêche. Tous les ans, le Conseil des Ministres fixe un «Total Admissible de Capture» (TAC) pour chaque espèce de poisson commercialisée. Les TAC, exprimés en tonnes, représentent une limite à ne pas dépasser, sous peine de menacer gravement les capacités de reproduction des poissons pour l'année qui suit. Ils sont déterminés principalement sur la base des avis scientifiques émis par le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM).

Les TAC sont distribués par quotas entre les Etats membres de l'Union Européenne, notamment en fonction des besoins particuliers des régions les plus

dépendantes de la pêche. L'épuisement d'un quota entraîne la fermeture de la pêcherie concernée, jusqu'à l'année suivante.

Ce système comporte un talon d'Achille: le contrôle s'exerce uniquement sur les poissons qui sont débarqués. Or, avant de rejoindre la terre, les pêcheurs rejettent par dessus bord une bonne partie de leurs prises, dont des jeunes poissons de taille insuffisante et des espèces pour lesquelles le quota est atteint, mais qui sont récoltées en même temps que d'autres. Et malheureusement, les poissons renvoyés à la mer ont généralement péri d'asphyxie sous le poids de leurs congénères ou ne survivent pas longtemps aux blessures causées par les filets. Ces rebuts peuvent représenter jusqu'à 50% du poids total des captures...

Depuis 1987, d'autres mesures visent également à assurer la pérennité des stocks de poissons: la réduction du nombre, du tonnage et de la puissance motrice des navires de pêche européens.

Pêcher mieux!

Assurer la productivité à long terme de la pêche passe aussi par une série de dispositions concernant les méthodes de capture et notamment: l'imposition d'un maillage minimal des filets, l'interdiction de s'attaquer aux zones où les poissons se reproduisent et où les jeunes abondent, ainsi que des restrictions concernant la longueur des filets dérivants.

Pêcher moins, mais pêcher mieux... Il faut espérer que toutes ces résolutions s'avéreront suffisantes pour rétablir les stocks de poissons sur le déclin. Certains experts estiment néanmoins d'ores et déjà indispensables une

révision à la baisse des quotas de capture et des contrôles plus sévères. Les pêcheurs ne voient pas d'un très bon œil ces décisions qui grignotent leur gagne-pain. En Belgique en particulier, la conciliation de la préservation des ressources naturelles avec la survie d'un secteur important sur le plan socio-économique local et du point de vue culturel, s'avère délicate. Aux autorités de convaincre les pêcheurs qu'il y va de leur intérêt à long terme...

✍️ { PHILIPPE VAN HAVER



Les problèmes écologiques de l'estuaire de l'Escaut

L'estuaire de l'Escaut s'étend sur 160 km, entre Gand et Flessingue. C'est la partie où le fleuve et la mer se rencontrent. Comme tous les estuaires naturels, il se caractérise par des paysages changeants. Ce territoire biologiquement très productif, est fréquenté chaque hiver par plus de 150.000 oiseaux migrateurs, venant de pays situés à des milliers de kilomètres. A chaque marée, des dizaines de millions de pois-

sons y pénètrent pour se nourrir. Pour de nombreuses espèces de poissons, l'estuaire de l'Escaut tient lieu de nurserie. Cet estuaire est un système très dynamique entre terre et mer, où les bancs de sable, les slikkes et les chenaux ne sont jamais les mêmes. C'est un lieu d'une beauté naturelle unique, fait d'immenses vasières ramifiées, constituées d'eau douce, d'eau saumâtre et d'eau salée, couvert sur

presque toute sa longueur de schorres et de slikkes. Le «Verdrongen Land van Saeftinge» (du nom d'un des quatre villages recouverts par les eaux au XVI^e siècle, aujourd'hui réserve naturelle) fait partie des plus vastes et des plus belles schorres salines du monde. Mais les temps changent...

VUE AÉRIENNE DEL'ESTUAIRE DE L'ESCAUT, UN COIN DE NATURE DE TOUTE BEAUTÉ.



Qualité de l'eau: meilleure, mais pas encore bonne...

Malgré la richesse de ses rives en plantes halophiles précieuses, l'Escaut est l'un des fleuves les plus pollués d'Europe. Des parties importantes de son cours sont atteintes d'anoxie, car les rejets de nitrates et de phosphates entraînent une importante eutrophisation de l'eau. En outre, des concentrations élevées de métaux lourds et de micropollutants organiques y ont été enregistrées. Les alluvions du fleuve sont également dramatiquement pollués.

La régression tragique des populations de poissons est l'une des conséquences de cette situation. Au siècle dernier, l'Escaut



L'ÉROSION DES SCHORRES EST GÉNÉRALEMENT ÉVITÉE AU MOYEN DE GRAVATS, CE QUI N'EST ÉVIDEMMENT PAS TRÈS ESTHÉTIQUE. D'AUTRES TECHNIQUES PLUS «ÉCOLOGIQUES» SONT ACTUELLEMENT EXPÉRIMENTÉES.

occidental comptait seize villages de pêcheurs. La pêche y était encore pratiquée intensivement jusqu'au début de ce siècle. Mais aujourd'hui, le fleuve n'attire plus que quelques sportifs acharnés et l'un ou l'autre pêcheur d'anguilles ou de soles. Il semble qu'au Moyen Âge, la pêche fluviale ait même été plus importante que la pêche côtière. Même si quelques optimistes annoncent que les poissons reviennent (à hauteur de la centrale nucléaire de Doel, plus de 60 espèces différentes de poissons avaient été dénombrées au début des années 90), nous sommes encore très

loin d'un rétablissement de la santé et de la propreté de l'Escaut. Aujourd'hui, il est possible de pêcher dans une partie limitée du Bas-Escaut, entre la frontière belge-néerlandaise et la rade d'Anvers. (Pour plus de détails concernant la pollution de l'eau, nous vous renvoyons au chapitre consacré à la mer du Nord, les problèmes étant similaires dans les grandes lignes).

I Perturbations physiques

Les perturbations physiques subies par l'estuaire de l'Escaut constituent un autre problème qui, s'il est moins connu, n'en est pas moins grave. Au fil des siècles, l'homme a si intensivement usé et abusé de cet estuaire, que la structure et le caractère initiaux de l'écosystème fluvial ont quasi disparu. Les bords de l'estuaire ont été entièrement aménagés. Pour la sécurité de la population, des digues ont été construites, puis élargies, tandis que de vastes zones le long des rives ont été assé-

chées à des fins agricoles, industrielles et récréatives. Au cours des cent dernières années, la superficie de l'estuaire a ainsi rétréci de quelque 30%! Pour améliorer sa navigabilité, le cours du fleuve a été détourné à plusieurs reprises, et les chenaux ont été dragués. Des écluses et des barrages ont ensuite été installés pour régulariser le débit de l'eau...

Les pressions économiques croissantes au cours des dernières décennies ont encore aggravé la situation de l'estuaire de l'Escaut, dont la valeur écologique était pourtant inestimable. Le cas de l'Escaut est loin d'être unique. La grande majorité des estuaires européens souffrent également de l'intervention toujours plus poussée de l'homme.

POUR AMÉLIORER SA NAVIGABILITÉ, LE COURS DU FLEUVE A ÉTÉ DÉTOURNÉ À PLUSIEURS REPRISSES ET DES CHENAUX ONT ÉTÉ DRAGUÉS.



Disparition d'habitats et travaux de dragage

Sur tout le territoire de l'estuaire, certains habitats se sont considérablement dégradés, et d'autres ont entièrement disparu. Cette détérioration du milieu résulte notamment de travaux de consolidation des rives au moyen de gravats (pour protéger les schorres!), et de la construction de digues. La réalisation des plans Delta et Sigma a également entraîné la disparition de biotopes de grande valeur, dans tout l'estuaire.

L'intervention physique la plus grave est peut-être le dragage à grande échelle subi par l'estuaire au cours de la dernière décennie. Pour que le port reste accessible à des bateaux toujours plus volumineux, des travaux de dragage doivent être entrepris. Chaque année, 10 millions de m³ de vase sont ainsi retirés de l'Escaut. À l'avenir, ce chiffre devrait progresser jusqu'à atteindre 15 millions de m³. Le coût de ces travaux tourne actuellement autour de la modique somme d'un milliard et demi de francs!

Le dragage est aussi effectué en vue d'assainir le fond de l'Escaut. La vase draguée doit être évacuée vers les terres. La recherche et la sélection de sites de décharge appropriés sont particulièrement délicates. Actuellement, les boues polluées sont déversées dans les «zones profondes» du port du pays de Waas (plus de 2 millions de tonnes y sont déjà stockées, mais ces zones seront bientôt saturées). Certains projets prévoient l'épandage de la vase sur les polders, où elle pourrait sécher pour être ensuite transportée vers une décharge définitive (puits d'argile abandonnés, par exemple). Contrairement à la vase, le sable dragué est relativement propre et peut donc être



I L'IMPORTANCE DE L'ESCAUT N'EST PLUS À PROUVER.

rejeté dans le fleuve. Ce procédé entraîne toutefois une accélération de l'ensablement des schorres et des slikkes autour des lieux de décharge, ce qui n'est certainement pas idéal pour la faune et la flore locales.

Approche intégrale

Autrefois, les intérêts économiques primaient systématiquement sur les considérations écologiques, avec toutes les conséquences que cette attitude impliquait pour l'estuaire de l'Escaut, pourtant unique en son genre. Cette vision trop étroite a fini par se retourner contre le développement économique. Les risques courus par l'environnement du bassin de l'Escaut constituent en effet une menace pour l'économie régionale. Ainsi, la facture du nettoyage du fond de l'Escaut risque d'être particulièrement salée. Le fait d'avoir compris que le bon fonctionnement écologique et la réussite écono-

mique du système ne pouvaient être dissociés, a donné lieu à une nouvelle forme de gestion: la gestion intégrale des eaux. Dans cette optique, la durabilité fait figure de priorité absolue, et les données économiques et écologiques sont étroitement liées. La limitation de la pollution de l'eau, la restauration du milieu, ainsi qu'une gestion écologiquement justifiée des voies navigables (notamment par une amélioration de la stratégie du dragage), apparaissent en première position à l'ordre du jour. Ce n'est qu'en s'attaquant de cette façon au problème que le rétablissement d'un écosystème aussi étendu que celui de l'Escaut progressera. Il faut en effet que l'estuaire de l'Escaut puisse être utilisé de manière réfléchie comme voie navigable, zone de pêche et centre de loisirs, sans que la sécurité de la population (inondations ou ruptures de digues), ni la beauté naturelle du site ne soient menacées.



7 Le développement durable une voie d'avenir

La population mondiale augmente, la prospérité dans les pays riches s'accroît et les pays pauvres tentent de combler le fossé qui les sépare de ceux-ci. La consommation de matières premières s'amplifie, le rejet de déchets et les émissions toxiques augmentent. Laisserons-nous une planète vivable aux générations futures? Ce ne sera sûrement pas le cas si l'évolution de ces cent dernières années se poursuit. Nous devons absolument changer de direction et opter pour un «développement durable».





NOUS UTILISONS L'ENVIRONNEMENT
COMME UNE RESSOURCE...

I Croissance et limites

L'homme utilise son milieu comme une «ressource» et comme un «milieu absorbant»:

- comme une ressource: il extrait du charbon, du pétrole, du gaz, des minerais, du bois, de la nourriture, de l'eau,...
- comme un milieu absorbant: il rejette des polluants dans le ciel et dans l'eau, et déverse des déchets dans le sol.

L'utilisation de ce milieu (ou la pression sur l'environnement) ne peut s'accroître éternellement. Le volume de la Terre est en effet limité. La «ressource» (stocks de combustibles et de minerais, réserves d'eau potable, production de bois et de nourriture...) l'est également. Enfin, la capacité d'absorption du «milieu absorbant» est elle aussi limitée (notre écosystème - la Terre - ne peut engloutir que des quantités limitées de rejets). Il est donc primordial que l'utilisation de notre milieu ne dépasse pas certaines limites. La pression sur l'environnement s'intensifie à cause de la croissance de la population mondiale et du relèvement du niveau de vie (chaque individu exerce de plus en plus d'activités pour satisfaire à ses besoins).

Pression sur l'environnement = niveau de vie x population



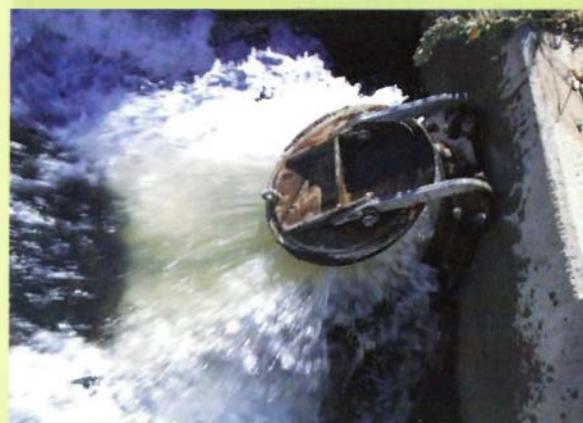
Croissance de la population mondiale

A l'heure actuelle, la population mondiale croît surtout dans les pays en voie de développement. D'après les dernières prévisions des Nations Unies, la population de la Terre se stabilisera au cours du siècle prochain (vraisemblablement aux alentours de dix milliards d'habitants).

CROISSANCE DÉMOGRAPHIQUE MONDIALE

1850	1 milliard
1910	1,7 milliard
1950	2,5 milliards
1990	5,3 milliards
2015	7,6 milliards
2050	10,1 milliards

I NOUS ARRIVONS AUX LIMITES DU GLOBE...



I ... ET COMME UN MILIEU ABSORBANT.

Croissance du niveau de vie

Le niveau de vie se mesure à la quantité de biens et de services qu'une personne ou un pays produit et consomme annuellement. Dans les banques de données internationales, cette quantité est exprimée par une valeur monétaire: le Produit National Brut (PNB).

La consommation moyenne par habitant progresse également rapidement.

PRODUCTION (CONSOMMATION) PAR PERSONNE (MOYENNE MONDIALE) - PRÉVISIONS

1950	1.671 US \$/an
1990	3.971 US \$/an
2015	5.971 US \$/an
2050	9.473 US \$/an

SOURCE I PNUE ; PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT.

Attention: les chiffres du tableau ci-dessus représentent une moyenne par personne dans le monde. Dans les 38 pays les plus riches (dont la Belgique), la consommation moyenne actuelle par habitant dépasse les 6.000 US \$ par an, en biens et en services. Pour le Belge moyen, cette valeur est d'environ 25.000 US \$. Mais il y a aussi 53 pays où cette moyenne annuelle n'atteint pas 650 US \$. Dans 82 pays, le revenu annuel oscille entre 650 et 6.000 US \$.

Le produit national brut (PNB) n'est cependant pas un indicateur parfait pour le niveau de vie. Ainsi, un pays dont le PNB par tête d'habitant est relativement élevé, peut présenter des lacunes en termes de santé publique, d'enseignement, etc. En outre, malgré une moyenne nationale élevée, il peut exister des contrastes importants au sein de la population, une bonne partie de celle-ci devant se satisfaire d'un revenu fort modeste.

Sur le total de la production mondiale (biens et services), 80% sont répartis entre les 20% d'habitants les plus riches. Par contre, les 20% d'habitants les plus pauvres ne se partagent qu'un très faible pourcentage de la production mondiale. Le fossé qui sépare les riches des pauvres est donc énorme.

La pression sur l'environnement

Derrière les chiffres du niveau de vie se cachent ceux de la pression sur l'environnement. Production et consommation s'accompagnent toujours d'une utilisation des ressources et de la capacité d'absorption. Dans le contexte de l'utilisation croissante du milieu (et donc de la pression croissante sur l'environnement), la con-

sommation d'énergie constitue un bon indicateur. Pour la grande majorité de nos activités, nous consommons en effet de l'énergie. Avant de nous intéresser de plus près à cette consommation, nous aimerions souligner que celle-ci s'accompagne de l'utilisation d'une quantité quasi proportionnelle de matériaux. Pour rouler en voiture, on ne consomme pas uniquement de l'énergie (carburant). Une voiture est fabriquée, des routes et des ponts sont construits. Même la consommation de l'énergie entraîne l'émission de substances acidifiantes et de gaz à effet de serre, ainsi que l'épuisement des sources de combustibles. La consommation des matériaux

Américain ne consommait pas moins de 320 gigajoules par an; et l'Africain une moyenne de 12 gigajoules. Toujours en 1990, la moyenne pour les pays industrialisés (dont la Belgique) se situait à 213 gigajoules par habitant. La même différence sensible entre riches et pauvres pourrait être démontrée sur la base de chiffres concernant la consommation de diverses matières premières, comme le cuivre ou le bois. Et cette différence substantielle se note également sur le plan de la quantité de déchets ou d'émissions toxiques allant de pair avec la richesse. En règle générale, il apparaît en effet que les pays où la consommation d'énergie est inférieure à

CONSOMMATION DE L'ÉNERGIE DANS LE MONDE (SCÉNARIO DU PNUE EN CAS D'ÉVOLUTION SELON LE MODÈLE USUEL)

	TOTAL	PAR PERSONNE (MOYENNE MONDIALE)
1950	76.459 pétajoules	30 gigajoules
1990	320.563 pétajoules	61 gigajoules
2015	571.309 pétajoules	76 gigajoules
2050	836.592 pétajoules	83 gigajoules

1 GIGAJOULE = 1 MILLIARD DE JOULES; 1 PÉTAJOLE = 1 MILLION DE GIGAJOULES; 1 KILOWATT-HEURE = 3.600.000 JOULES = 3,6 MÉGAJOULES; 1 CALORIE = 4,18 JOULES; 1 TONNE DE PÉTROLE = 11.630 KILOWATTS-HEURES

provoque également le tarissement des matières premières et la pollution de l'environnement. L'escalade de la consommation moyenne d'énergie par les habitants de la Terre est donc bien évidente. Ici aussi, les différences entre riches et pauvres sont considérables. En 1990, le Nord-

40 gigajoules par personne sont confrontés à une insuffisance des soins de santé (mortalité infantile élevée, espérance de vie courte) et de l'enseignement (nombre important d'analphabètes).

Quand la consommation d'énergie dépasse 80 gigajoules par personne, la mortalité

DANS LES PAYS DÉVELOPPÉS, LES CONSOMMATIONS ÉLEVÉES DE MATIÈRES ET D'ÉNERGIE FONT PARTIE DU MODE DE VIE.



infantile recule et l'analphabétisme atteint un niveau équivalent à celui des pays industrialisés. L'espérance de vie grimpe jusqu'à plus de 60 ans. Avec 80 gigajoules par habitant, il est dès lors possible d'assurer les besoins de base et une espérance de vie raisonnable. Le Belge consomme néanmoins près de trois fois plus, alors que l'Africain moyen doit se contenter de 12 gigajoules. Il est évident qu'il ne suffit pas de consommer de l'énergie pour être en meilleure santé. Cette dernière dépend du niveau de l'éducation et de la qualité des soins de santé. Or, le tout nécessite une consommation accrue d'énergie (et de matériaux).

L'eau

Toutes les formes de vie dépendent de l'eau. Bien qu'environ 9.000 km³ d'eau douce par an soient disponibles pour la population mondiale, cette quantité n'est pas équitablement répartie. Les pays où l'alimentation en eau locale s'élève à une moyenne de moins de 1.000 m³ par personne et par an, sont considérés par les hydrologues comme des zones de pénurie d'eau.

Sur base de ces paramètres, dès 1955, sept pays souffraient de pénurie d'eau. Depuis 1990, treize nouveaux pays sont venus compléter la liste, et en 2025, quatorze de plus devraient y figurer.

Avec l'évolution de la population mondiale, le nombre de personnes menacées par ce fléau progresse dramatiquement. En 1940, la consommation annuelle d'eau pour le monde entier était estimée à 1.000 km³. En 2000, ce chiffre dépassera les 5.000 km³. Sur ce volume total, 65% sont consommés par l'agriculture. C'est pourquoi une pénurie d'eau représente dans de nombreux cas une menace directe pour l'alimentation de la population. Le problème est encore aggravé par la



PARTOUT LA CONSOMMATION AUGMENTE... AINSI QUE LES DÉCHETS.

CROISSANCE MONDIALE DE QUELQUES ACTIVITÉS HUMAINES ET PRODUITS CONSOMMÉS

	1970	1990
Population mondiale	3,6 milliards	5,2 milliards
Nombre de voitures	250 millions	560 millions
Nombre de kilomètres parcourus par an (uniquement pays riches de l'OCDE) – voitures particulières – camions	2 585 milliards 666 milliards	4 489 milliards 1 536 milliards
Consommation annuelle de pétrole	17 milliards de barils	24 milliards de barils
Consommation annuelle de gaz naturel	880 milliards m ³	1 980 milliards m ³
Consommation annuelle de charbon	2,3 milliards de tonnes	5,2 milliards de tonnes
Cons. annuelle de boissons rafraichissantes	18 milliards de litres	44 milliards de litres
Consommation annuelle de bière	15 milliards de litres	23 milliards de litres
Consommation annuelle d'aluminium (boissons rafraichissantes/canettes)	72 700 de tonnes	1 251 900 de tonnes
Quantité d'ordures ménagères (uniquement pays de l'OCDE)	302 millions de tonnes	420 millions de tonnes

SOURCE | MEADOWS, D.H., MEADOWS D.L. ET RANDERS J. (1991); BEYOND THE LIMITS; EARTHSCAN; LONDRES.

pollution. En moyenne, 450 km³ d'eaux usées sont rejetées chaque année dans les eaux de surface: les deux tiers de la quan-

tité totale d'eau de pluie disponible dans le monde servent à diluer et à emporter ces eaux.

QUANTITÉ D'EAU DISPONIBLE (EN M³ PAR HABITANT)

	1950	2000
Afrique	20.600	5.100
Asie	9.600	3.300
Europe	5.900	4.100
Amérique du Nord	37.200	17.500
Amérique latine	105.000	28.300

SOURCE | FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION.

I Notre avenir à tous

C'est en 1987 que le rapport intitulé «Our Common future» (en français: «Notre Avenir à Tous») a été publié par la Commission mondiale pour l'Environnement et le Développement (également connue sous le nom de commission Brundtland). Ce rapport, commandé par les Nations Unies, a été rédigé par une série d'experts issus tant des milieux économiques qu'écologiques, et tant des pays pauvres que des pays riches. Ces spécialistes ont formulé un point de vue commun au sujet de la voie à suivre pour que l'humanité ne continue pas à s'enfoncer dans les problèmes écologiques, tout en mettant fin à la pauvreté dans le Tiers-Monde. Ils ont appelé cette voie le Développement durable.

LE DÉVELOPPEMENT DURABLE SELON LA COMMISSION MONDIALE POUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT (1987)

Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.

Le développement durable est un processus de transformation dans lequel:

- l'exploitation des ressources,
- la direction des investissements,
- l'orientation des techniques et
- les changements institutionnels se font de manière harmonieuse et renforcent le potentiel présent et à venir permettant de mieux répondre aux besoins et aspirations de l'humanité.

Priorité à la lutte contre la pauvreté

Le rapport de la commission contenait évidemment bien plus d'éléments que les deux citations reprises ci-devant. Ainsi, l'accent était mis sur la priorité absolue à accorder aux besoins essentiels des pauvres. Ces derniers ont droit - selon les termes du rapport Brundtland - à la satisfaction non seulement de leurs besoins de base (nourriture, vêtements, toit et travail), mais également de leurs aspirations légitimes en matière d'amélioration de leur qualité de vie. Pour un grand nombre de pays en voie de développement, cette déclaration signifie une amélioration du bien-être matériel, ce qui suppose une croissance économique.

Une série de questions se posent dès lors. Si le Tiers-Monde atteint le même niveau de vie que les pays riches et suit la même évolution économique que celle des pays occidentaux au cours des cent dernières

années, n'allons-nous pas irrémédiablement vers une catastrophe écologique? Si nous laissons aller les choses, la production mondiale grimpera en flèche de 21.000 milliards US \$ en 1990, à 96.000 milliards US \$ en 2050, ce qui fera passer la consommation mondiale d'énergie de 320.600 à 836.600 pétajoules (même en cas d'utilisation de machines moins 'énergivores'). La production agricole devra au moins doubler et la consommation d'eau fera un bond de 50%.

Et il s'agit là de prévisions dans l'hypothèse où le fossé entre riches et pauvres ne disparaîtrait pas: l'Américain moyen consommant, en 2050, environ 370 gigajoules d'énergie par an, contre 27 gigajoules pour un Africain.

Les chercheurs qui ont effectué ces calculs constatent que dans ce cas, des problèmes d'environnement apparaîtraient sur plusieurs fronts (changements climatiques,

UN DÉVELOPPEMENT DURABLE SIGNIFIE AUSSI UN PARTAGE PLUS JUSTE DU NIVEAU DE VIE.



pluies acides, etc.) Même si, au niveau mondial, la quantité d'eau et de nourriture est suffisante, il y aura malgré tout des pénuries locales ou régionales. Les plus pauvres essayeront de se maintenir en vie au moyen des produits issus de terres agricoles marginales qui pèseront lourd sur la vie sauvage, des espèces végétales et animales étant vouées à la disparition. Les déchets et les émissions toxiques augmenteront de plus en plus (en 1990, le total des émissions toxiques industrielles dans le monde était estimé à 18,9 millions de tonnes).

Comment peut-on affirmer, devant de telles perspectives, que les plus pauvres peuvent atteindre un niveau de prospérité leur offrant les mêmes chances de survie que les riches occidentaux? La consommation d'énergie et d'eau ne va-t-elle pas s'intensifier? Les rejets de déchets et de substances toxiques dans l'air et dans l'eau ne vont-ils pas s'amplifier?

D'après la commission Brundtland, un processus de changement doit être entamé, processus auquel chacun devra participer: les scientifiques et les ingénieurs, en rassemblant toutes leurs connaissances en vue du développement de technologies plus écologiques; les entreprises, en investissant dans des méthodes de production respectant l'environnement; les dirigeants politiques, en se servant de tous les instruments possibles (lois et normes, subsides, taxation) pour faciliter une consommation plus «verte». Bref, il faudra que l'ensemble de la société participe à la réalisation du projet de développement durable.

I Rio 1992

Les idées générales du rapport Brundtland ont été développées lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED ou en anglais, UNCED), organisée à Rio de Janeiro (au Brésil) en 1992. Lors de cette réunion à laquelle participaient les gouvernements de 178 pays, différents discours ont été prononcés. La Déclaration de Rio sur l'Environnement et le Développement formulait, entre autres, 27 principes, visant notamment la mise en place d'une collaboration internationale nouvelle et équivalente entre les Etats, les acteurs sociaux et la population.

Le principe de précaution

Dans cette liste de principes, les principaux points de vue défendus par la commission Brundtland ont été confirmés. En outre, le principe de précaution y a été repris (principe 15). Concrètement, il signifie qu'il ne faut pas attendre pour agir de disposer de preuves irréfutables, par exemple au sujet du renforcement de l'effet de serre par les émissions de CO₂ et des changements climatiques qui s'ensuivent. Etant donné que des dommages graves et irréversibles peuvent en résulter, il est indispensable de prendre des mesures, malgré l'incertitude scientifique.

Intégration du coût

Relevons également le principe du pollueur-payeur (principe 16), qui se traduit par une intégration du coût de la protection de l'environnement. Un exemple. Aujourd'hui, les légumes cultivés biologiquement coûtent plus cher que les légumes issus de l'agriculture classique. L'agriculteur «bio» n'utilise ni pesticides,

QUELQUES PRINCIPES DE LA DÉCLARATION DE RIO

Principe 1: Les êtres humains sont au centre des préoccupations relatives au développement durable. Ils ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature.

Principe 4: Pour parvenir à un développement durable, la protection de l'environnement fait partie intégrante du processus de développement et ne peut être considérée isolément.

Principe 5: Tous les Etats et tous les peuples doivent coopérer à la tâche essentielle de l'élimination de la pauvreté, (...).

Principe 7: Les Etats doivent coopérer dans un esprit de partenariat mondial en vue de conserver, de protéger et de rétablir la santé et l'intégrité de l'écosystème terrestre. (...)

Principe 8: Afin de parvenir à un développement durable et à une meilleure qualité de vie pour tous les peuples, les Etats devraient réduire et éliminer les modes de production et de consommation non viables (...).

Principe 10: La meilleure façon de traiter les questions d'environnement est d'assurer la participation appropriée de tous les citoyens concernés, au niveau qui convient. (...)

Principe 15: Pour protéger l'environnement, des mesures de protection doivent être largement appliquées par les Etats selon leurs capacités. En cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement.

Principe 16: (...) C'est le pollueur qui doit, en principe, assumer le coût de la pollution, (...).

ni engrais artificiels, contrairement à l'agriculteur ordinaire qui de ce fait porte atteinte au milieu. Ce comportement nécessite des investissements croissants pour l'épuration de l'eau potable, afin de maintenir à un niveau acceptable sa

teneur en azote et en pesticides. Ces frais ne sont toutefois couverts ni par l'agriculteur pollueur, ni par le consommateur qui achète des légumes ordinaires. Ils sont pris en charge par tous les contribuables, même ceux qui mangent des légumes biologiques et qui ne sont donc pas responsables de cette pollution. En fait, il faudrait intégrer le coût de la réparation des dommages écologiques dans le prix des légumes non biologiques. Une étude néerlandaise a d'ailleurs démontré que dans ce cas, les légumes «bio» coûteraient quelques pour cent de moins que ceux produits de manière traditionnelle.

Participation et intégration

Le plaidoyer pour l'implication (la participation) de tous les citoyens est également important (principe 10). Il est fondé sur la constatation que dans le cadre du développement durable, il faut pouvoir compter sur la collaboration de chacun. Mais ceci n'est possible que pour autant que l'individu participe au processus de décision et ait accès aux informations appropriées émanant des autorités et concernant son milieu de vie.

Le principe 4, enfin, porte sur la politique intégrée de l'environnement. En d'autres termes, les problèmes écologiques ne devraient pas relever uniquement des compétences du ministre de l'environnement. Les ministres des finances, de l'économie, des transports, de l'emploi et de l'éducation publique ne devraient plus pouvoir prendre des décisions sans tenir compte de l'environnement, en attendant que le ministre de l'environnement imagine une solution pour remédier aux effets néfastes de leur politique. Chaque autorité (et notamment les autorités communales) doit au contraire prendre en considération les

critères liés à l'environnement dans chacun de ses choix politiques. Ce qui signifie que chaque décideur doit intégrer à sa politique la prise en compte de l'environnement.

l Action 21

Voilà pour les principes. Mais qu'en est-il dans la pratique? Le principal document que les participants emportèrent dans leur valise en quittant Rio, est un manuel intitulé «Action 21», comprenant plus de cent programmes dans le domaine du développement durable. Ces instructions devaient être mises en œuvre par les gouvernements, les institutions de l'ONU, les entreprises et les organisations sociales. Ce programme d'action comprend notamment des propositions dans différents domaines: contrôle et réduction des déchets chimiques, traitement et élimination des déchets radioactifs, protection des forêts, développement d'une agriculture durable, lutte contre la dégradation du sol,... Il contient aussi des suggestions destinées à régler l'échange de techniques «propres» entre pays. Il mentionne en outre des projets concernant les océans, la gestion de l'eau et des côtes, la lutte contre la pauvreté, les soins de santé, la politique des prix et le commerce dans le contexte des objectifs environnementaux. «Action 21» indique comment et par qui ces programmes doivent être mis à exécution. Il est évident que la pauvreté est également l'une de ses préoccupations prioritaires. La misère, la sous-alimentation et les problèmes de santé sont des maux qui frappent plus d'un milliard de personnes dans le monde.

Se rattachant au rapport international «Action 21», de nombreux pays ont rédigé leur propre «Action 21» national. Leur exemple a été suivi par les communes, qui ont dressé leur «Action 21» local.

l Techniques efficaces

«Action 21» reconnaît que les modèles de production et de consommation non durables, notamment dans les pays industrialisés, représentent une des causes principales de la dégradation de l'environnement mondial. Les citoyens riches doivent-ils dès lors renoncer à leur confort? Devons-nous nous séparer de notre téléviseur, de notre réfrigérateur et de notre voiture? Pas nécessairement.

Trois facteurs sont à l'origine de la pression sur l'environnement. Le nombre d'habitants de la planète joue un rôle évident. Leur niveau de vie moyen intervient aussi. Mais il y a un troisième facteur déterminant: les techniques permettant d'assurer le niveau de vie.

Un exemple simple. Une lampe à incandescence allumée ne convertit pas plus de 10% de l'énergie électrique en énergie utile (la lumière). Le reste est gaspillé sous forme d'énergie thermique. Le rendement de l'ampoule ne dépasse donc pas les 10%. Pour produire la même quantité d'énergie utile (lumière), une ampoule économique consomme cinq fois moins d'énergie.

L'éclairage n'est pas le seul domaine concerné. Des techniques toujours plus efficaces sont également développées en matière de refroidissement, de chauffage, de mobilité et pour tous les autres services.

Le Studiecentrum voor Technologie, Energie en Milieu (STEM) constate qu'un ménage moyen consommerait environ la moitié d'électricité en moins, en achetant des appareils électriques économiseurs d'énergie. Sans parler des prototypes qui ne

AUGMENTER LE RECYCLAGE DES MATIÈRES EST POSSIBLE



se trouvent encore que dans les laboratoires des ingénieurs. La comparaison ne concerne que la consommation moyenne des appareils actuellement utilisés par les ménages, avec celle des appareils les plus économes existant sur le marché. Ces appareils sont peut-être un peu plus coûteux, mais le supplément de prix est vite récupéré au niveau de la note d'électricité. Il ne s'agit là que d'un seul exemple permettant de démontrer que la pression exercée sur notre milieu peut diminuer sans supplément de coût ni perte de confort.

Le juste prix

Ce n'est pas uniquement dans les maisons, mais aussi dans les magasins, les bureaux et l'industrie que des économies d'énergie substantielles peuvent être réalisées à l'aide

fraction des dépenses totales. L'attention accordée à ces frais est par conséquent à l'avenant. Le consommateur roule en voiture avec insouciance, laisse la lumière et le réchaud inutilement allumés, fait des milliers de kilomètres pour passer quelques semaines de vacances... Une solution consisterait à prélever un taxe sur l'énergie. Les consommateurs paieraient donc plus d'impôts sur leur consommation d'énergie et l'Etat pourrait réduire l'imposition des revenus. Globalement, le contribuable ne verrait pas la différence.



L'ÉNERGIE SOLAIRE N'EST PAS LA SEULE SOLUTION. IL FAUT AVANT TOUT MOINS GASPILLER D'ÉNERGIE.

PRINCIPAUX APPAREILS MÉNAGERS: CONSOMMATION ET POSSIBILITÉS D'ÉCOMOMIE

APPAREIL	CONSOMMATION MOYENNE DE L'APPAREIL (EN KILOWATTS-HEURE/AN)	CONSOMMATION AVEC APPAREILS ÉCONOMIQUES DISPONIBLES (EN KILOWATTS-HEURE/AN)	ÉCONOMIE (EN %)
Réfrigérateur	352-360	140	60,7
Surgélateur	511-635	205	64,3
Machine à laver	265-300	180	36,2
Éclairage	650-700	220	67,5
Pompe chauffage central	379-400	100	74,4
Total	2.276	845	62,9

SOURCE | STEM

de techniques économiquement rentables existant à l'heure actuelle. Pourquoi alors ne pas les utiliser? En grande partie par ignorance et - c'est ce que des experts affirment - parce que l'énergie n'est en fait pas assez chère. Tant dans un ménage moyen que dans une usine ordinaire, la facture d'électricité ne représente qu'une petite

La combinaison chauffage-force motrice
Dans les centrales électriques, lors de la transformation de l'énergie du combustible en électricité, environ la moitié de cette énergie se perd sous forme de chaleur. Actuellement, dans notre pays, cette chaleur est en grande partie évacuée par des tours de refroidissement. Or, elle pourrait être utilisée pour

chauffer les maisons, les hôpitaux, les bureaux ou les piscines. Aux Pays-Bas et au Danemark notamment, ce procédé est appliqué à très grande échelle. Ce système - la combinaison chauffage-force motrice - permet d'économiser 15 à 30% de combustible (et par conséquent, de limiter l'émission de gaz à effet de serre et de substances acidifiantes).

Le soleil et le vent

Il existe également des sources d'énergie alternatives. L'énergie atomique se heurte cependant à une opposition populaire.

Mais la lumière solaire, elle aussi, fournit de l'énergie (chaleur produite par chauffe-eau solaire, et électricité produite par des cellules photovoltaïques). Les turbines éoliennes et hydrauliques produisent également des quantités impressionnantes d'énergie. Cependant, le succès de l'énergie solaire et éolienne dépend dans une large mesure de leur prix. Tant que le pétrole, le charbon et le gaz resteront bon marché, il sera difficile de convaincre les producteurs d'électricité d'installer davantage d'éoliennes (même si en de nombreux endroits venteux, ces installations sont déjà économiquement rentables).

Le secteur de l'alimentation

La production alimentaire primaire totale s'élève environ à 19 mégajoules par personne et par jour (19 millions de joules: 1 calorie = 4.187 joules). Sur ce total, 9 mégajoules sont directement consommés par l'homme, et 10 mégajoules servent à nourrir les animaux. Ces animaux produisent 1,7 mégajoule de nourriture animale.



LE RENDEMENT PAR HECTARE A CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉ, MAIS CETTE ÉVOLUTION S'EST FAITE AU PRIX DE QUANTITÉS COLOSSALES D'ÉNERGIE (UTILISATION DE MACHINES, DE PESTICIDES, D'ENGRAIS CHIMIQUES).

Autrement dit, le rendement alimentaire des animaux n'atteint que 17% en moyenne. Sur une production brute de 19 mégajoules, il reste donc $9 + 1,7 = 10,7$ mégajoules pour la consommation finale par personne et par jour (moyenne mondiale). Actuellement, une quantité suffisante de nourriture est produite dans le monde pour nourrir convenablement

toute la population. Mais la faim est un problème économique et institutionnel. Les pauvres n'ont souvent pas accès aux terres fertiles. Ce phénomène est dû, dans une large mesure, au pouvoir d'achat opprimant des pays industrialisés, qui fait qu'un quart environ des terres agricoles (souvent les meilleures) du Tiers-Monde sont réservées à l'exportation.

CONSOMMATION D'ÉNERGIE (EN MÉGAJOLE PAR HECTARE) ET RENDEMENT DE LA PRODUCTION DE RIZ DANS LES ANNÉES 70

SYSTÈME AGRICOLE	MODERNE	DE TRANSITION	TRADITIONNEL
Énergie utilisée (MJ/ha)	64.885	6.386	173
Production de riz (kg/ha)	5.800	2.700	1.250
Énergie/production (MJ/kg)	11,19	2,37	0,14

SOURCE | VERBRUGGEN A. (1990); HET GELUK VOORBIJ; STICHTING LEEFMILIEU VZW, ANVERS; UITGEVERIJ MARC VAN DE WIELE, BRUGES.

| La même chose avec moins

Il est possible de prouver, dans tous les domaines, qu'il y est possible de réaliser la même chose avec moins d'énergie et de matières premières. Les possibilités de recyclage sont infinies. Nous pourrions reconcevoir la plupart des produits de façon à réduire de moitié ou du quart leur pression sur l'environnement. Nous arriverons pourtant toujours à la même conclusion: le développement durable n'est finalement pas un problème technique. C'est surtout un problème économique et politique. La pollution ne coûte pas assez cher. Le problème se situe aussi au niveau politique car seul, un pays ne peut pas faire grand-chose. La Belgique n'est pas en mesure d'imposer seule des normes rigides en matière d'environnement à ses entreprises, car celles-ci ne seraient plus compétitives par rapport à leurs homologues étrangères.



L'ASPECT ÉCONOMIQUE DES RÉFORMES
EST UNE DIMENSION INCONTOURNABLE

| Les acteurs de l'environnement

Pour réussir, le développement durable ne peut être qu'un projet mené par tous les secteurs de la société. C'est pourquoi le programme «Action 21» des Nations Unies, principale référence en matière de développement durable, s'emploie à démontrer l'intérêt de tous les grands groupes sociaux à y contribuer.

Chacun de ces groupes peut avoir des raisons particulières de faire avancer l'instauration d'un développement durable. Les entreprises, par exemple, mettront davantage l'accent sur les progrès à réaliser en matière d'utilisation des ressources, tandis que les jeunes insisteront sur la prise en compte du futur, et d'autres encore sur l'importance de l'équité et de la participation. Mais, quoi qu'il en soit, les idéaux et valeurs qui sous-tendent le projet d'un développement durable - même si la notion n'est pas nécessairement connue - sont aujourd'hui assez répandus dans la société.

Pour preuve, ces dernières années ont vu éclore différentes instances visant à favoriser la participation d'une pluralité d'acteurs aux politiques d'environnement.

Celles-ci ont généralement un rôle consultatif, non décisionnel. Au niveau fédéral, il s'agit du Conseil fédéral du Développement durable (CFDD). Dans les Régions aussi, il existe des Conseils consultatifs pour l'Environnement, dont la vocation est de s'étendre au développement durable.

Ces conseils ne donnent pas seulement l'occasion aux différents groupes d'exprimer leur point de vue. L'existence même de discussions entre eux est peut être encore plus importante, et il n'est pas rare que celles-ci aboutissent à des consensus.

Dans le domaine du développement durable, il ne s'agit pas tant de satisfaire au maximum les demandes de telle ou telle origine, mais plutôt de prendre des décisions qui optimisent les relations entre les objectifs écologiques, économiques et sociaux.

Les pages qui suivent seront centrées sur les questions d'environnement. Cependant, si la mise en œuvre d'une politique de développement durable en appelle à tous les secteurs de la société, il ne faut pas éviter - au contraire - de traiter les aspects sociaux et économiques du développement, conjointement aux dimensions environnementales proprement dites.

Il est également évident que la notion de développement durable nécessite la prise en compte de changements à l'échelle du monde. Notre analyse portera néanmoins avant tout sur la situation des pays industrialisés, et de la Belgique en particulier.

Qui agit, et comment, près de chez nous dans le domaine de l'environnement?

Outre les institutions ad hoc, il existe dans la pratique un grand nombre d'attitudes et d'actes que chacun des 'acteurs' que nous allons envisager peut poser - ou ne pas poser - en liaison avec l'objectif d'un développement durable. Parler des acteurs de l'environnement amène à tenter, pour chacun, de discerner les pistes d'action possibles. C'est pourquoi, on dit souvent que pour avancer dans la réalisation d'un

développement durable, il faut «penser globalement et agir localement». Certains ajoutent: «... et changer personnellement».

Voyons à présent pour chacun des grands groupes d'acteurs que représentent les pouvoirs publics, les citoyens, les entreprises et les scientifiques, les voies d'action possibles dans le sens d'un développement durable.

Les pouvoirs publics

Plans de Développement durable

Les Plans de Développement durable sont des programmes à travers lesquels les pouvoirs publics encadrent et orientent l'action des forces sociales et économiques.

Au niveau international, c'est le programme «Action 21» (en anglais «Agenda 21») qui joue ce rôle. Mais des plans sont également élaborés à d'autres niveaux. En Belgique, un Plan fédéral de Développement durable sera réalisé pour le début de l'an 2000. Des actions de coordination entre les ministères et les Régions sont prévues à cet effet.

En outre, de plus en plus de communes tentent de mettre sur pied des «Action 21» locaux, transposition à l'échelle communale des objectifs et moyens liés au développement durable correspondant à leur niveau. En 1997, environ 1.800 plans de ce type étaient dénombrés dans le monde. Ces différents plans orientent les politiques à mettre en œuvre, à avec un degré de précision variable. Ils ne sont généralement pas assortis d'un caractère contraignant, contrairement aux lois et règlements.

Lois et règlements

Nous sommes loin aujourd'hui de la situation du début des années 70 où la législation en matière d'environnement était squelettique. Les premières lois globales relatives aux déchets par exemple remontent, dans notre pays, aux années 80. Très technique, cette législation est fortement encadrée par l'Union européenne. Cette échelle de décision offre l'avantage de grouper les connaissances des différents pays et de mettre ceux-ci sur un pied d'égalité en ce qui concerne la protection et la compétitivité. C'est ainsi que, depuis 1970, plus de 200 directives portant sur l'environnement ont été adoptées par l'Union européenne. Chacune d'elles est un texte fixant un cadre de législation qui doit obligatoirement être appliqué dans chaque pays de l'Union.

Les pouvoirs publics sont tenus de faire respecter la législation en vigueur. Il est vrai que les sanctions ont été faibles et les poursuites relativement peu sévères pendant de longues années. Cependant, la conscientisation progressive de tous

concernant l'importance des enjeux liés à cette législation accroît progressivement les actions de contrôle et de respect des règlements.

Nous citerons également diverses administrations mises en place dans le domaine de l'environnement dans notre pays, et qui ont accumulé un niveau important d'expertise en la matière. La Région Flamande a créé les organismes suivants: Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaams Gewest (OVAM), Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) et Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer (AMINAL). En ce qui concerne la Région bruxelloise, relevons l'Institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement (IBGE). Quant à la Région Wallonne, la Division Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE) centralise les compétences, même si la Société Publique d'Aide à la Qualité de la Vie (SPAQUE) cible les problèmes de décharges. En outre, il existe également un ministère fédéral ayant des compétences en matière d'environnement.

Instruments économiques

En plus de la législation environnementale, les pouvoirs publics cherchent depuis une dizaine d'années à instaurer ce qu'ils appellent des «instruments économiques». Ceux-ci visent à réduire les activités polluantes, non plus en usant de la menace de sanctions comme dans le cadre de la législation, mais en agissant sur les coûts.

Les pouvoirs publics disposent en effet de différents instruments (fiscalité, subventions,...) permettant de rendre comparativement plus chers les activités et produits les plus polluants afin de les décourager et



LES POUVOIRS PUBLICS DOIVENT PILOTER LA BIFURCATION NÉCESSAIRE DE NOTRE DÉVELOPPEMENT



LA DIFFÉRENCE DE PRIX ENTRE L'ESSENCE SANS ET AVEC PLOMB EST UN BON EXEMPLE D'«INSTRUMENT ÉCONOMIQUE» EFFICACE.

d'encourager, au contraire, les activités et les produits moins polluants qui seraient alors comparativement moins chers.

Un exemple qui a particulièrement bien fonctionné est celui de l'essence avec plomb, dont les pouvoirs publics ont décidé de hausser le prix par rapport à l'essence sans plomb. Cette différence de prix a grandement contribué à la diminution des rejets de plomb dans l'atmosphère.

Plusieurs instruments économiques en faveur de l'environnement fonctionnent dans la pratique depuis des années:

- les redevances et taxes sur les eaux usées ou sur les déchets, entre autres. En principe, plus l'émission est polluante, plus la charge financière est élevée. Les déchets toxiques sont davantage taxés que les ordures ménagères, par exemple;
- le système de dépôt et de consignation. Dans certains pays comme l'Allemagne ou la Scandinavie ou dans l'état américain du Michigan, il faut payer une surtaxe sur des produits potentiellement polluants, surtaxe qui est restituée quand le produit usé est rendu pour un traitement adéquat. Cette méthode donne des résultats très positifs, avec un taux de retour de 80% en moyenne;

- les subventions. Il s'agit d'encourager au moyen de conditions financières avantageuses, des améliorations technologiques destinées à réduire la pollution;
- les permis négociables. En vigueur aux Etats-Unis, ce système permet à des entreprises qui dépassent les normes d'émissions dans l'air, d'acheter à d'autres entreprises, qui au contraire se situent en dessous de ces normes, un certain quota d'émissions. Les résultats de cette méthode sont discutés et leur application à la limitation des gaz à effet de serre est actuellement à l'étude.

Apparemment, le public réagit favorablement à la mise en œuvre de tels instruments. Selon des sondages effectués en 1997, les 3/4 des Européens accepteraient que des produits plus nocifs pour l'environnement soient fortement taxés et près de 90% que les produits respectant l'environnement le soient moins.

Sensibilisation et éducation

Enfin, aucun changement durable et important n'est réalisable sans information ni sensibilisation. Les pouvoirs publics ont la possibilité d'assurer celles-ci de différentes façons. Ils peuvent mener des campagnes directes, accompagnant par exemple des décisions à prendre en matière d'environnement. Mais la plus grande partie de leur action s'exerce de façon indirecte. Ainsi, un certain nombre de soutiens sont accordés à des associations menant diverses actions de sensibilisation envers les citoyens, sans oublier le financement de l'enseignement et des actions éducatives allant dans le même sens.

LA POLITIQUE DES TRANSPORTS NÉCESSITE DE NOMBREUSES ACTIONS COMPLÉMENTAIRES ENTRE ELLES

UN EXEMPLE D'ACTIONS MULTIPLES

DES POUVOIRS PUBLICS: LES TRANSPORTS

L'augmentation du trafic routier est un fait de société impressionnant dans tous les pays du monde. Ces transports contribuent pour une part croissante aux émissions des gaz à effet de serre. Or, même si les gaz d'échappement sont partiellement dépollués, les automobiles, les camions et les bus contribuent considérablement à la pollution de l'air. Enfin, l'engorgement des voies de transport apparaît comme quasi inéluctable sous le poids croissant des véhicules, avec, entre autres, des conséquences en terme de perte de temps. Ce sont là des problèmes difficiles à résoudre, compte tenu des avantages de l'automobile du point de vue de l'autonomie et du confort, mais aussi de la rigidité des habitudes. Pour remédier à ces dysfonctionnements, les pouvoirs publics sont contraints d'agir sur plusieurs plans en combinant différents types d'instruments:

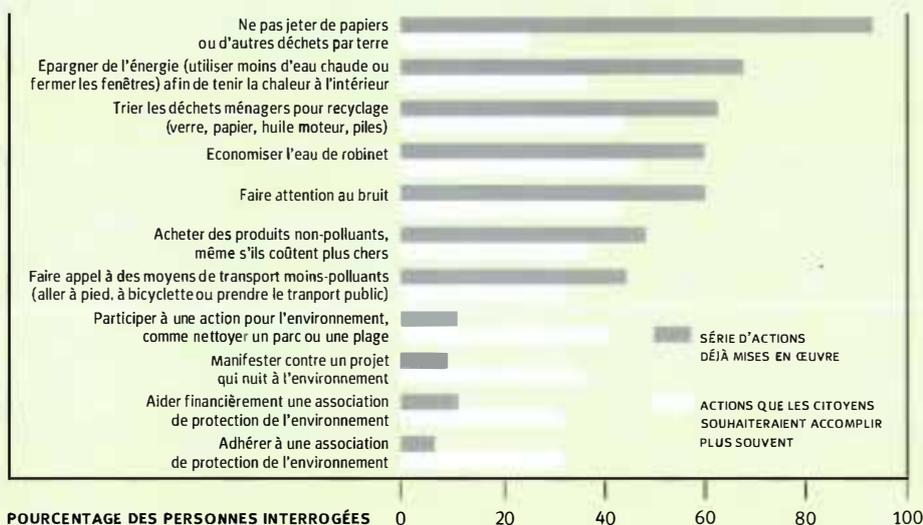
- des plans de transport visant notamment des arbitrages entre transports en commun et voitures privées, des aménagements de routes, des investissements en matière d'infrastructure,...
- des textes de lois relatifs aux règles de circulation et aux limites de celle-ci, aux transports groupés pour les entreprises, au nombre de parkings par rapport à celui des bureaux,....;
- des instruments économiques comme un carburant plus cher et des transports en commun moins chers (ou même gratuits, comme dans certaines villes);
- des actions de sensibilisation expliquant les problèmes du point de vue des usagers et incitant chacun à faire des choix en conséquence.



Les citoyens

Citoyens: différentes actions possibles

Bien souvent, les citoyens se demandent en quoi ils peuvent contribuer à la protection de l'environnement, voire à un développement durable. A titre d'illustration, ce sondage européen relève une série d'actions déjà mises en œuvre, ou que les citoyens souhaiteraient accomplir plus souvent:



POURCENTAGE DES PERSONNES INTERROGÉES 0 20 40 60 80 100
 LES ACTIONS POUR AMÉLIORER L'ENVIRONNEMENT À LA PORTÉE DES CITOYENS EUROPÉENS
 SOURCE : EUROPEAN COMMUNITIES COMMISSION : « CARING FOR OUR FUTURE » – LUXEMBOURG 1997.

Citoyens-consommateurs

L'une des actions ayant la faveur du public depuis quelque temps est la recherche d'une consommation plus «civique», incluant l'usage de produits «verts». Certains consommateurs introduisent en

DES CHOIX SONT POSSIBLES AU MOMENT DES ACHATS QUOTIDIENS



effet dans leurs actes d'achat, la prise en compte de données liées à la protection de l'environnement. Ce comportement peut avoir un double effet. D'une part, l'usage de produits plus propres limite, au niveau individuel, l'impact de la consommation sur l'environnement. Mais d'autre part - dans certains cas tout au moins -, ces achats ont une incidence sur l'offre du marché.

En effet, si un grand nombre de consommateurs demande des produits plus respectueux de l'environnement, les producteurs et distributeurs ont tout intérêt à adapter leur offre et donc à produire et distribuer davantage ce type de produits. Cet effet a été observé par exemple pour le papier recyclé ou pour certains produits de nettoyage

et d'entretien. Bien entendu, une consommation plus «verte» suppose au minimum deux conditions, à savoir qu'il existe, pour le domaine envisagé, des produits respectant davantage l'environnement et que l'information sur ces produits soit fiable et facilement accessible.

Respect de l'environnement: quelle information?

Marketing oblige, de nombreuses informations reprises dans les étiquetages sont avant tout publicitaires. Si un Jury d'Ethique Publicitaire et des règlements interdisent la publicité mensongère, celle-ci est parfois fantaisiste ou incomplète. Néanmoins, le label écologique européen (qui existe entre autres pour les peintures et vernis, ou les machines à laver) est attribué à des produits qui respectent des critères écologiques définis par des règlements. Dans plusieurs pays, il existe en outre des labels nationaux.



NE PAS CONFONDRE PUBLICITÉS ET LABELS UN LABEL CERTIFIE QUE LE PRODUIT SATISFAIT CERTAINS CRITÈRES PRÉCIS

1 / LABEL ÉCOLOGIQUE EUROPÉEN



2 / AGRICULTURE BIOLOGIQUE



3 / VIDANGE CONSIGNÉE

4 / «COMMERCE ÉQUITABLE» FAVORISE LES PRODUCTEURS DU SUD



Que peuvent faire les jeunes et les enfants?

Les enfants figurent parmi les personnes qui se montrent les plus concernées par la dégradation de l'environnement et recherchent des moyens d'agir à leur niveau. Certaines écoles ont organisé des programmes de gestion interne de leur établissement de façon à limiter concrètement la consommation et les déchets, mais aussi à améliorer le cadre de vie, sur le modèle de véritables petites entreprises et avec l'implication active des élèves. Des expériences d'éducation à l'environnement sont par ailleurs menées en collaboration avec des scientifiques et le WWF, incluant par exemple la surveillance de sources et de réserves d'eau par des enfants. Certains programmes mettent également en contact des scientifiques spécialisés en matière d'environnement avec des étudiants.



LE CARTABLE «ÉCOLOGIQUE»

Voici quelques mesures particulièrement concrètes pour rendre un cartable plus «écologique»: acheter utile; choisir solide, réparable et rechargeable; utiliser du papier recyclé et, pour les brouillons, des feuilles déjà utilisées d'un côté. Pour la collation et les boissons: éviter les emballages jetés jour après jour, en employant des boîtes et des gourdes,...

Environnement et actes quotidiens

Chacun sait aujourd'hui qu'un meilleur tri des déchets à la source favorise leur recyclage. Rappelons aussi que dès la phase d'achat, il est possible de privilégier des produits durables, recyclables et économes en ressources. De plus, de nombreuses mesures d'économie sont réalisables pour l'utilisation chez soi du chauffage, de l'eau, etc. Pouvoirs publics



LE TRI DES DÉCHETS À DOMICILE EST DE PLUS EN PLUS PRATIQUÉ.

et associations diffusent un certain nombre de brochures donnant des conseils dans ces domaines. Certains services de réponse aux questions par téléphone fonctionnent également gratuitement. Il existe même des groupements volontaires de personnes motivées, les «eco-teams», qui se réunissent périodiquement pour partager leurs expériences de consommation plus économe et plus «propre», non sans résultats aussi sur le plan financier.

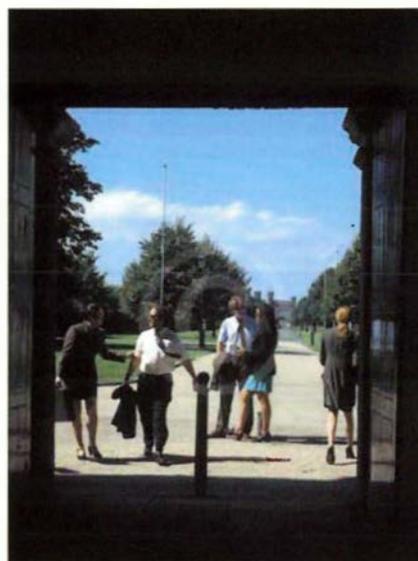
Une fois sensibilisés aux problèmes d'environnement, peu à peu, nous jetons un autre regard sur nos activités quotidiennes. Prenons l'exemple de la peinture chez soi: les peintures synthétiques seront bannies pour privilégier les peintures naturelles. Acheter juste les quantités nécessaires évitera de produire des déchets, lesquels doivent être éliminés séparément des ordures ménagères.

Ou encore, essayer de faire du vélo. En effet, «la petite reine», naguère si courante, a trop été supplantée par l'automobile ces dernières années et revient progressivement dans nombre de villes européennes. Sur des trajets jusqu'à 4 kilomètres au moins, le vélo est souvent le transport le plus rapide en ville. Un cycliste, selon sa forme, roule en effet à une vitesse moyenne de 10 à 20 km/h. Quant aux transports en commun, chacun connaît leur capacité d'économie d'énergie par kilomètre parcouru et surtout leur gain en encombrement par passager. Il suffit de comparer la place que prennent 50 voitures individuelles avec leur conducteur, et un tram contenant 50 passagers.

Donner son avis lors des enquêtes publiques

Les citoyens peuvent aussi s'exprimer dans les procédures qu'une démocratie met en œuvre en ce qui concerne l'environnement. Il en va ainsi des projets locaux, mais aussi lorsqu'une région lance un nouveau plan de gestion des déchets ou des transports, par exemple.

CHACUN PEUT PARTICIPER À UNE ENQUÊTE PUBLIQUE



Bien sûr, la compréhension des enjeux liés à ces procédures n'est pas toujours simple pour des personnes non spécialisées, même si les promoteurs font des efforts croissants de communication. Quant aux habitants, on constate qu'ils s'intéressent de plus en plus à des demandes d'avis de ce type. Plusieurs consultations organisées par des villes belges ont mobilisé – un dimanche et sans obligation de vote – plus de 50% des habitants. Dans certains cas, une majorité d'habitants souhaitaient faire connaître leur opposition à des installations perçues comme menaçant leur environnement. Il n'est en effet pas facile de gérer les avantages et les inconvénients de certains projets (comme ceux du domaine des déchets) par rapport à la collectivité et par rapport aux riverains. Dans d'autres cas, il s'agissait plutôt d'exprimer des préférences face à un projet d'aménagement.

Dynamisme des associations

En environnement comme dans d'autres domaines, une expression plus organisée des choix des citoyens peut aussi s'exercer à travers des partis politiques ou des associations spécialisées.

Des associations de protection de l'environnement existent depuis de nombreuses années, depuis le niveau local jusqu'au niveau international. Certaines sont spécialisées dans la protection de la faune et de la flore, tandis que d'autres abordent aussi les choix technologiques ou économiques, nécessaires pour la mise en place d'un développement durable. La grande majorité de ces associations fonctionne grâce au bénévolat, bien que certaines, aidées par les pouvoirs publics ou soutenues par des dons, emploient de véritables professionnels de l'environnement.

Des groupements locaux se créent presque toutes les semaines et un certain nombre d'entre eux sont membres de fédérations régionales (Inter-Environnement, Bond Beter Leefmilieu,...), elles-mêmes organisées au niveau européen. De plus, de grandes associations agissent au niveau international avec des antennes en Belgique, les trois principales dans notre pays étant Greenpeace, Worldwide Fund for Nature (WWF) et les Amis de la Terre.

L'action en faveur de la protection de l'environnement n'est certainement pas limitée aux associations du même nom. Comme dans le domaine de la gestion par les pouvoirs publics, des associations agissant dans d'autres secteurs, peuvent également être animées par ce type de préoccupations. Ainsi, dans les recommandations aux consommateurs, des organismes spécialisés tels que le CRIOC (Centre de Recherche et d'Information des Organisations de Consommateurs) abordent les composants écologiques des produits. D'autres initiatives intéressantes créant des emplois non qualifiés, telles que le recyclage d'objets usagés, peuvent également être citées dans nos pays. Le développement durable ouvre en effet un champ d'action à de multiples initiatives. Ainsi, les ONG actives en matière de développement, au sens traditionnel, intègrent progressivement la dimension environnementale dans leur réflexion. Ou, pour ne citer qu'un exemple, les «Magasins du Monde» (Oxfam), par leur objectif de justice sociale et économique et de respect de l'environnement, s'insèrent aussi dans l'optique d'un développement durable, même si ce n'est pas dit explicitement.

Les entreprises

Le rôle des entreprises est absolument essentiel pour la protection de l'environnement. D'une part, elles sont à l'origine de nombreuses nuisances du fait de leurs activités (et nous pouvons inclure aussi dans ce raisonnement de grands secteurs comme celui de l'agriculture et des transports). D'autre part, grâce à leur maîtrise des techniques, elles peuvent apporter une contribution de premier plan à la réduction de l'impact sur le milieu, que ce soit en modifiant leurs propres procédés de production, en repensant les produits destinés à la consommation, ou en mettant au point de nouvelles technologies employées dans d'autres secteurs.

Emploi et environnement

Certains prétendent que la protection de l'environnement nécessitant la fermeture d'entreprises trop polluantes, s'effectuerait au détriment de l'emploi.

Or, statistiquement, le poids de la dépollution dans les coûts totaux de production est le plus souvent inférieur à 1% et par conséquent, ne peut être considéré comme un facteur provoquant une délocalisation ou des pertes d'emploi.

Il est vrai cependant que les entreprises qui ne s'adaptent pas aux évolutions technologiques en matière de pollution comme à l'égard d'autres exigences, sont progressivement désavantagées dans la compétition économique. La protection de l'environnement devient alors un facteur parmi d'autres influençant la position compétitive à moyen terme. C'est pourquoi les syndicats, conscients de l'importance de cet enjeu, sont favorables à une attitude active des entreprises vis-à-vis des

problèmes de pollution. Bien entendu, l'évolution vers un développement durable n'implique pas seulement le res-

Les emplois de l'environnement.

Le traitement des pollutions représente un secteur en croissance, qui génère lui aussi des emplois. La Commission européenne a estimé (en 1994) le nombre d'emplois dans ce secteur à 1,5 million, soit 1% du total de l'emploi (500.000 pour l'élimination des eaux usées et des déchets, 250.000 dans l'industrie de l'eau, 90.000 pour le recyclage et 65.000 pour la fabrication d'instruments).

Cette estimation basse n'inclut pas une série de métiers liés à l'environnement, par exemple dans le domaine de l'aménagement et de la protection de la nature, ainsi que des emplois administratifs et indirects. Ceux-ci pourraient représenter 50% de plus que le chiffre cité.

En Belgique, ce chiffre se situerait alors entre 30.000 et 45.000 emplois.

pect de l'environnement, mais requiert sans doute également une adaptation progressive des rôles économiques et sociaux des entreprises vers la satisfaction des besoins des plus démunis, ainsi que des solutions aux problèmes croissants de chômage et de pauvreté.

Entreprises et environnement: une attitude active

Du point de vue des techniques industrielles, nous avons déjà vu que dans un grand nombre de cas, un niveau de vie équivalent pourrait être maintenu en augmentant l'efficacité écologique des procédés, c.-à-d. en réduisant la consommation d'énergie et de matières, ainsi que les émissions polluantes. Or, ces changements ne s'effectuent pas du jour au lendemain. Même lorsqu'il existe des techniques

intéressantes et rentables, celles-ci ne sont pas automatiquement diffusées.

Dans les années 70, la protection de l'environnement était plutôt considérée comme contraire à la bonne marche de l'économie et des entreprises. Puis, certaines entreprises ajoutèrent des installations de dépollution (pour des fumées ou des rejets d'eau, par exemple) à leurs procédés. D'autres allèrent même plus loin, en repensant les procédés utilisés, par exemple pour éliminer autant que possible l'emploi de produits toxiques. Ces «technologies propres» limitent les risques d'accidents et de nuisances pour le personnel, ainsi que la nécessité de dépolluer. Elles entraînent parfois même des économies, ne serait-ce qu'en réduisant le coût du traitement des déchets.

Cette optique d'intégration de la protection de l'environnement au niveau de la production même progresse dans le monde industriel depuis les années 90. Des entreprises dynamiques considèrent qu'il s'agit là de concepts importants pour les marchés d'aujourd'hui et de demain.



TOUT LE PERSONNEL D'UNE ENTREPRISE DOIT
INTERVENIR DANS LA RÉDUCTION DES POLLUTIONS

ENTREPRISES POUR UN DÉVELOPPEMENT DURABLE

Le «World Business Council for Sustainable Development», un groupement de multinationales qui s'intéresse au développement durable, recense une série de raisons pratiques pour lesquelles les entreprises sont amenées à agir sur le plan de l'environnement:

- le renforcement des législations, y compris des sanctions en cas d'infractions;
- «l'éco-efficacité»: produire plus avec moins de ressources et de pollution a une justification économique;
- le marché des technologies et services pour la protection de l'environnement affiche une bonne croissance;
- le recours croissant des pouvoirs publics aux instruments économiques entraîne une taxation plus lourde des pollutions diverses;
- les banques et les compagnies d'assurances, inquiètes des frais de pollution, demandent plus de garanties;
- certains investisseurs sont attentifs au profil «vert» des entreprises. Il existe même des «Green Funds» (placements à orientation écologique), surtout dans les pays anglo-saxons. Il s'agit là d'une application au domaine boursier des achats influencés par des raisons écologiques;
- l'image positive des entreprises «responsables» tant auprès de leur personnel

que de leurs clients et des associations de protection de l'environnement. Mais attention à l'écart entre l'image et les activités concrètes de l'entreprise: il y a là un risque de porter atteinte à la crédibilité de toute la démarche.

Le défi des substances toxiques et dangereuses

Selon un rapport de l'Agence Européenne de l'Environnement («Dobris Assessment»), au début des années 90, les industries européennes (au sens large, UE et AELE) produisaient 250 millions de tonnes de substances chimiques. L'inventaire européen des substances utilisées dans le commerce en regroupe plus de 100.000 différentes, dont 1.000 environ représentent 95% de la production européenne en tonnage. Si ces productions amènent une série de facilités et d'améliorations dans notre vie quotidienne, il ne faut pas sous-estimer les conséquences de leur comportement une fois retournées dans la nature. Il y a par exemple entre 30 et 45 millions de tonnes de déchets dangereux produits par an dans les pays européens de l'OCDE (1993), soit jusqu'à un tiers de l'équivalent du total annuel des déchets ménagers. Beaucoup de données manquent encore pour évaluer de façon détaillée les effets des produits de synthèse sur l'homme et la nature. Il est vrai que la tâche est difficile et mobilise de nombreux tests. De plus, les découvertes quant aux conséquences de faibles doses progressent tous les jours, de même pour les effets de substances combinées.

Il faut donc améliorer l'étude des incidences des produits et diffuser cette information le mieux possible quand elle existe. Le secteur industriel, connaissant mieux que quiconque ses propres produits, devrait jouer un rôle majeur dans ce contexte. Pourtant, il faut aussi aller plus loin et viser à limiter l'utilisation de produits chimiques dangereux et toxiques, notamment en les remplaçant par d'autres. C'est l'une des voies que préconise d'ailleurs «Action 21».



PARMI LES DÉCHETS INDUSTRIELS, LES DÉCHETS TOXIQUES SONT LES PLUS ENCOMBRANTS. ILS DIMINUENT VIA UN REMPLACEMENT PROGRESSIF DES PRODUITS DANGEREUX PAR DES SUBSTITUTS MOINS POLLUANTS.

«Les produits chimiques toxiques qui sont actuellement utilisés peuvent souvent être remplacés par d'autres substances. Il est ainsi parfois possible de réduire les risques en employant d'autres produits chimiques, voire des techniques qui ne font pas appel à des produits chimiques. L'exemple classique de réduction des risques consiste à remplacer des substances dangereuses par des substances inoffensives ou moins nocives.» («Action 21», '19.44).

Certes cette substitution demande des efforts et n'est pas toujours possible à court terme. Mais elle est favorisée par une volonté en ce sens, si l'on est persuadé de la difficulté de gérer à long terme des quantités de produits potentiellement dangereux toujours plus nombreux et de plus en plus répandus dans l'environnement. Une recherche résolument orientée dans ce sens, de même qu'un encadrement approprié par les pouvoirs publics pourraient favoriser cette transition vers l'usage de substances plus inoffensives.

Système de gestion environnementale dans une entreprise

Lorsqu'une entreprise souhaite prendre activement en compte le facteur environnement, il lui est conseillé de mettre en place une méthode interne de gestion adaptée. Soit simple, c'est le cas pour les petites et moyennes entreprises, soit élaborée, de préférence en appliquant des méthodes certifiées telles que EMAS (Environment Management and Audit System) ou la norme ISO 14001.

Même si cette démarche est simplifiée, elle doit au moins comporter une analyse de l'état des effets de l'entreprise sur l'environnement, ainsi qu'un programme concret et progressif d'amélioration. Une telle analyse globale au départ est toujours préférable à des mesures isolées.

Il est également intéressant de veiller à ce que la comptabilité permette de recenser les dépenses et les gains liés à l'environnement, y compris les «coûts cachés». Il

PENSER À L'ENVIRONNEMENT AU BUREAU, C'EST POSSIBLE

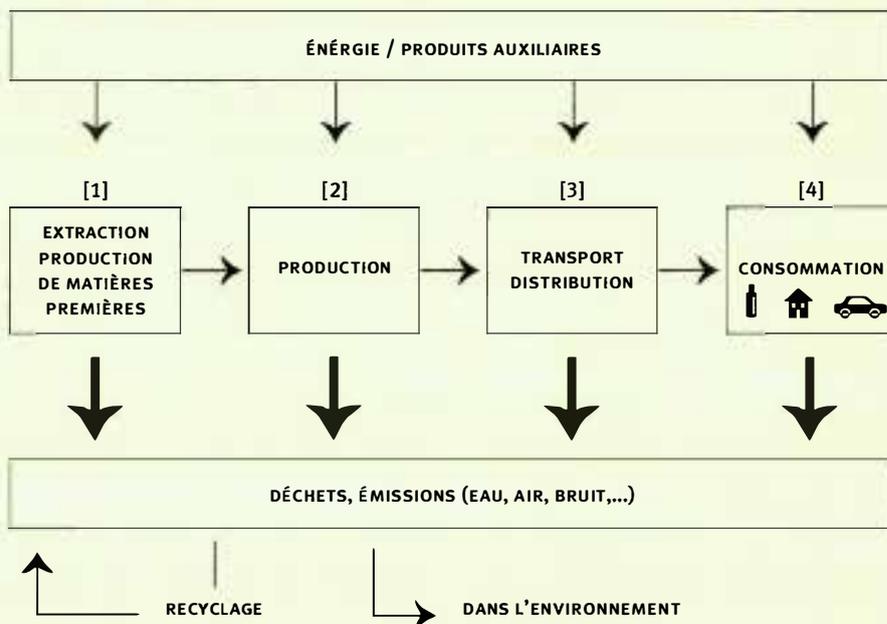
Changer certaines de nos habitudes concrètes de travail au bureau afin de progresser vers une consommation écologique plus importante, implique certains actes individuels, et autres, à organiser à l'intérieur du lieu de travail. Voici quelques pistes en ce domaine:

- économiser du papier en imprimant recto-verso chaque fois que possible et utiliser du papier recyclé; prévoir des poubelles de récupération spéciales pour le papier imprimé, celui-ci ayant une bonne valeur de recyclage (plus que les journaux, par exemple);
- économiser l'électricité en éteignant les appareils et éclairages non utilisés, et si possible en s'équipant en matériel peu «énergivore» (photocopieuse, climatisation, ampoules à haut rendement,...);
- utiliser les services des fournisseurs pour la reprise des éléments usés (cartouches d'encre, par exemple) et privilégier les objets plus favorables à l'environnement (marqueurs, ordinateurs, cadeaux d'entreprise,...);
- choisir une entreprise de nettoyage qui limite les pollutions dues à ces produits (certaines proposent ce type de services).

s'agit par exemple des coûts futurs de dépollution d'un terrain à la suite des activités de l'entreprise.

Une vision plus large, une attitude plus responsable

Pour progresser vers un développement durable, outre la gestion interne, les entreprises sont amenées à considérer leurs activités de façon plus large - certains disent «holiste» - que par le passé. En ce qui concerne les produits en particulier, il ne s'agit plus seulement de regarder la phase de vente et de production, mais



LES IMPACTS D'UN PRODUIT SURVIENNENT TOUT AU LONG DE SA 'VIE', DEPUIS SA FABRICATION JUSQU'À SON ÉLIMINATION. IL FAUT DONC AGIR À CES DIFFÉRENTS NIVEAUX. L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV,ÉCOBILAN) AIDE À COMPRENDRE CES PROBLÉMATIQUES.

aussi les répercussions au stade de leur consommation et la façon dont ils seront éliminés ou recyclés. Pour ce faire, la notion d'Analyse de Cycle de Vie (ACV ou écobilan) est utilisée.

Tous les effets de la «vie» d'un produit sont à considérer dans cette démarche, ce qui n'est pas chose aisée. Mais ce n'est qu'ainsi que l'ensemble des atteintes à l'environnement peut être minimisé. Ces écobilans sont d'ailleurs employés aussi pour attribuer un label à certains produits plus écologiques, ce qui peut alors orienter les consommateurs.

Les entreprises ont un rôle actif à jouer pour contribuer à «fermer les cycles de vie des produits», à savoir reprendre les produits usés ou les déchets afin de les recycler. De cette façon les coûts liés au traitement des déchets de consommation ne sont plus à charge de la collectivité, mais progressivement intégrés dans ces

produits. Dans certains secteurs tels que l'automobile ou les appareils électroménagers, cette orientation progresse concrètement. De même, des entreprises se sont organisées («Fost +») pour reprendre une part de plus en plus importante de déchets d'emballages et de piles usées afin de les recycler davantage que par le passé, même si beaucoup sont encore mis en décharge ou incinérés. L'idéal reste cependant de progresser vers la prévention, aussi bien des déchets que des émissions, car tout recyclage suppose malgré tout des pertes et des risques.

Cette conception plus large et plus responsable des activités industrielles en liaison avec la société et les clients amène aussi des entreprises à davantage de dialogue et de collaboration avec des représentants de consommateurs et d'associations de protection de l'environnement. Le groupement European Partners for Environment notamment organise de

tels dialogues. Les cas de partenariats entre industries et associations sont de plus en plus nombreux. Ainsi par exemple, la multinationale Unilever a conclu avec le WWF un accord pour le respect des réserves de poissons dans certaines zones. Des associations de protection de l'environnement commencent à promouvoir activement des produits qu'elles jugent plus favorables à l'environnement.

De tels dialogues se situent dans l'esprit des politiques actuelles de développement durable et peuvent porter également, avec les interlocuteurs appropriés, sur des aspects sociaux et économiques. L'implication des travailleurs de l'entreprise dans ces démarches est un élément important de leur succès.

Communication

Ce type d'évolution s'accompagne aussi de la nécessité pour les entreprises de mieux communiquer au sujet de leur impact sur l'environnement et des moyens employés pour atténuer celui-ci. Des rapports environnementaux sont édités, parfois annuellement, par des entreprises, en particulier dans le secteur de la chimie.

Toutefois, une véritable communication doit s'effectuer dans les deux sens. De bons rapports environnementaux constituent certes un progrès, mais ils ne remplacent pas un dialogue, nécessaire dans des cas conflictuels. Certaines méthodes existent pour favoriser ces concertations.

De grandes entreprises constituent parfois de façon permanente des «comités d'accompagnement», où siègent des représentants de la population, des pouvoirs publics et

de l'industrie. Il s'agit de lieux où l'on apprend à mieux comprendre les logiques de chacune des parties, et qui permettent ainsi d'atténuer des conflits dus à la méconnaissance ou à l'incompréhension mutuelles. L'expérience montre que l'entreprise soucieuse de communiquer avec son voisinage devrait au minimum prévoir un système pratique pour enregistrer les plaintes éventuelles et y répondre. Une autre action possible favorisant la connaissance mutuelle et par conséquent la communication, est l'organisation de visites d'usine.

Enfin, il est conseillé aux entreprises de fournir des informations le plus objectivement possible, afin de ne pas entamer leur crédibilité.

Les principes de ces mesures favorables à l'environnement sont parfois repris dans des engagements signés volontairement par des industries. Le programme «Responsible Care» existe depuis de nombreuses années dans le secteur de la chimie. L'International Chamber of Commerce a lancé en 1991 la Business Charter for Sustainable Development, qui comprend 16 principes. Traduite en 23 langues, elle a été signée par plus de 2.500 entreprises dans le monde.

LE SECTEUR DU TOURISME AUSSI DEMANDE UNE GRANDE ATTENTION À LA PROTECTION L'ENVIRONNEMENT



Les limites de l'action

Il est évident que pour exister, les entreprises se doivent d'être viables économiquement. Elles sont donc limitées dans leurs initiatives par cet impératif. Les visées de rentabilité à court terme et le poids des habitudes hypothèquent encore souvent l'évolution des activités vers une meilleure prise en compte des dimensions d'un développement durable. En outre, la connaissance des technologies et des méthodes de gestion plus durable doit encore progresser, ne serait-ce qu'au niveau de la formation des futurs travailleurs et dirigeants. Enfin, il n'est pas réaliste non plus de tout attendre des entreprises pour progresser vers le développement durable. Comme les autres acteurs, leur action dans cette direction progresse en relation avec les attentes, demandes et opportunités émanant des autres groupes, qui les stimulent. Sans de tels incitants elle reste peu encouragée et d'autres impératifs tendent à prendre le pas sur la protection de l'environnement et le développement durable.

Les scientifiques

Sans les scientifiques, les problèmes d'environnement seraient beaucoup moins connus de tous, qu'ils ne le sont. C'est

bien sûr le cas pour tous les types de problèmes, car les scientifiques ont pour mission de transmettre une série de connaissances, les plus solides possibles, afin d'orienter les décisions appropriées d'une société. Dans le domaine de l'environnement, les matières à étudier comptent un certain nombre de caractéristiques qui les rendent à la fois complexes et passionnantes.

Sciences et environnement

L'environnement est le lieu par excellence où doit s'appliquer la pluridisciplinarité. Les études concernent naturellement des éléments relevant des différentes sciences de la nature. Néanmoins, dans le domaine du développement durable, les aspects économiques et sociaux sont également à analyser et à intégrer dans les évaluations. Les études ainsi réalisées comprennent des aspects liés à la chimie, la faune, la flore, la géologie, la biologie, la toxicologie, mais aussi à l'économie, la sociologie, le droit, etc., si bien qu'elles deviennent de plus en plus complexes. Souvent, à partir de problèmes environnementaux, de multiples relations entre des éléments, parfois proches, parfois éloignés, sont mises en lumière. Le domaine de l'environnement contribue de cette façon à nous faire mieux comprendre notre société et à nous éclairer sur les décisions à prendre. Cependant, celles-ci apparaissent aussi comme moins univoques que par le passé. Un investissement rentable économiquement à court terme et localement, peut par exemple présenter, à la suite d'évaluations scientifiques, des caractères qui s'avèrent négatifs à long terme, en un autre lieu ou sous un autre angle (social ou environnemental).

L'environnement est par définition sans limites, car il ne s'étend que jusqu'à celles qui lui sont attribuées, à la fois dans l'espace et dans le temps (comme la référence aux 'générations futures'). Cela non plus ne facilite pas la tâche des scientifiques.

Recherche et enseignement

Des scientifiques participent aux activités des trois grands groupes que nous avons décrits, aussi bien au sein des pouvoirs



MODIFIER UN ENVIRONNEMENT EXIGE UNE RÉFLEXION MULTIDISCIPLINAIRE AFIN DE TENIR COMPTE DE SES NOMBREUSES DIMENSIONS.

UNE APPLICATION DE LA PLURIDISCIPLINARITÉ: LES ÉTUDES D'INCIDENCES SUR L'ENVIRONNEMENT

Le cas des études d'incidences sur l'environnement menées à l'occasion de la construction d'une route illustre bien ce phénomène. Voici en effet une liste des répercussions sur l'environnement à étudier dans ce cadre:

- étude des aspects humains: intégration de la route dans l'économie de la région; cadre humain, bruit;
- étude des paysages: protection des paysages, respect de l'esthétique et des prescriptions pour le choix des espèces;
- étude de la faune et de la flore: modifications éventuelles dues au tracé de la route et à la pollution des véhicules;
- étude du sol: caractéristiques du sol en rapport avec la construction, écoulement des eaux;

publics et des industries que de certaines associations spécialisées. Mais une certaine forme d'activité scientifique s'exerce avant tout dans des institutions d'enseignement, en particulier des universités et des centres de recherches qui ne sont pas liés à des activités économiques.

En Belgique par exemple, les Services des Affaires Scientifiques Techniques et Culturelles (SSTC) financent, depuis des années, d'importants programmes de

- tracé de la route: points à relier; incidences sur le trafic;
- combinaisons des différents effets: écoulement d'eau polluée par les véhicules avec incidences sur les poissons fragiles d'un ruisseau à proximité.

Il faut également examiner les solutions alternatives, de tracé, de gabarit, d'aménagement du paysage, d'atténuation du bruit, etc. ou même le remplacement par un autre moyen de transport.

Finalement, un avis global devra être donné sur la multitude des aspects du projet routier. Selon quels critères combiner ces différents effets? Par exemple, un impact limité sur la beauté des paysages et peu de nuisances sonores - mais la destruction de plantes et animaux rares qui se trouvent à proximité?

Il n'y a pas de critères purement scientifiques pour répondre à cette question. Il s'agit de choix qui font intervenir des préférences: c'est pourquoi, outre les éléments scientifiques, il existe, comme nous l'avons vu, des procédures démocratiques pour consulter la population.

recherche sur l'environnement et le développement durable. D'autres instances publiques, comme l'Union européenne ou les Régions belges, financent également des recherches en ce sens.

Le présent ouvrage constitue par lui-même une illustration de la contribution de scientifiques à la présentation des problèmes d'environnement, et il résulte de nombreuses recherches menées en Belgique et à l'étranger.

Beaucoup de travaux scientifiques contribuent à une description la plus précise possible de l'environnement et des effets des agressions auxquelles il est soumis. Certains explorent aussi des moyens d'action pour limiter ces atteintes et s'efforcent de décrire les conséquences de l'emploi de ces solutions, étant entendu que les choix en la matière reviennent avant tout aux décideurs, conformément aux procédures démocratiques.



LE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT OFFRE D'INTÉRESSANTS DÉBOUCHÉS AUX SCIENTIFIQUES

Pour accumuler des connaissances relatives à des problèmes de plus en plus complexes – et parfois d'ordre planétaire –, les regroupements internationaux de scientifiques sont d'importance croissante. L'un d'eux, majeur pour la protection de l'environnement, est le Groupe Intergouvernemental d'Experts pour l'étude du Changement climatique (GIEC), qui met en liaison de façon permanente des milliers de scientifiques dans le monde et publie des rapports qui font autorité dans les décisions à prendre en la matière.

Les universités, pour leur part, ne représentent pas seulement des lieux où sont menées des recherches, mais aussi, et surtout, des centres de formation et de diffusion des connaissances. Dans le domaine de l'environnement, un certain nombre de diplômes d'études spécialisées ont été créés et rencontrent un succès croissant parmi les étudiants.

Cependant un défi reste à relever pour intégrer également une dimension environnementale dans tous les grands types de formation (économistes, ingénieurs,

médecins....) Cette démarche serait le pendant au niveau des formations, de ce qui est demandé au niveau des décisions politiques en matière de développement durable: l'intégration de l'environnement dans les différents secteurs. De tels éclairages, conçus pour chaque formation, pourraient avoir des effets importants sur le plan de l'exercice des professions, et par conséquent sur l'impact des activités concernées.

Appel de scientifiques à une prise de conscience des problèmes

Outre leur rôle de «savants», il arrive que des scientifiques cherchent à sensibiliser l'opinion et les décideurs à la gravité des problèmes dont ils traitent ou ont connaissance. Dans ce registre, l'action la plus impressionnante sur le plan de la protection de l'environnement, est sans doute «l'Avertissement des Scientifiques du Monde entier à l'Humanité» («World's Scientists Warning to Humanity», publié en novembre 1992 par la Union of Concerned Scientists qui rassemble près de 1.600 scientifiques, dont 102 dotés d'un Prix Nobel.

Ce texte retrace avec relief les grands problèmes environnementaux liés à la croissance des activités humaines et à celle de la population. Le constat procède d'une inspiration semblable à celle de la Conférence de Rio et du Rapport Brundtland qui a précédé cette conférence. Il contient une vigoureuse mise en garde.

Voici quelques extraits de cet avertissement (traduction française: Association Ephèse):

«Nous les soussignés, membres reconnus de la communauté scientifique mondiale, avertissons ici toute l'humanité de ce qui s'annonce. Un changement profond de notre gestion de la planète et de la vie qu'elle abrite est nécessaire si nous voulons éviter de grandes souffrances et une mutilation irréversible de notre habitat global sur cette planète.»

«Les pays développés sont les plus grands pollueurs du monde aujourd'hui. Ils doivent réduire de façon considérable leur surconsommation pour réduire les pressions sur les ressources et l'environnement global.»

«Aucune nation ne peut échapper aux blessures résultant d'un endommagement des systèmes biologiques globaux.»

«Le plus grand danger est de se retrouver coincé dans un spirale de déclin écologique, de pauvreté et de troubles, menant à l'effondrement social, économique et environnemental.»

«Le succès de cette entreprise globale (de changement) nécessitera une réduction importante des violences et des guerres. Les ressources actuelles consacrées à préparer et à mener la guerre - se montant à plus de 30.000 milliards de francs belges (1.000 milliards \$) annuellement - seront bien nécessaires pour ces nouvelles tâches et devraient être réorientées vers ces nouveaux défis».

«Nous, les scientifiques publiant cet avertissement, espérons qu'il atteindra et touchera les gens partout. Nous avons besoin de nombreuses aides.»



« Nous appelons chacune et chacun à nous rejoindre dans cette tâche ».

Table des matières



Bruxelles Vivre dans une grande ville

La pollution atmosphérique	8
Introduction	8
En quoi consiste l'air pollué?	9
Qui émet quoi?	10
Un cocktail de polluants	12
Le smog d'été	13
Formation de l'ozone	13
Inversion de la température et smog	14
L'ozone du week-end	16
Le pot catalytique pour les voitures: la solution au problème de l'ozone?	17
Victimes du smog d'été	18
Le smog d'hiver	19
Smog d'hiver	19
Un danger pour la santé publique	19
Pluies acides	20
Le déperissement de notre patrimoine culturel	22
Mesures à prendre	23
Le problème des déchets	24
Production des déchets	24
Traitement des déchets avantages et inconvénients	25



Le mal des forêts ardennaises

Au chevet des forêts ardennaises	29
À la recherche des coupables...	30
Les auteurs du délit	30
Les complices	31
Les profiteurs	31
Gros plan sur les effets de la pollution	32
Une perturbation du sol et de l'alimentation des arbres	32
Des dégâts occasionnés au feuillage	33

Une maladie sous haute surveillance	33
Des solutions	35
Réduire la pollution atmosphérique	35
Restaurer le potentiel nutritif des sols forestiers	36
Planter côte à côte des espèces complémentaires	36
Planter moins serré	37
Planter des arbres bien adaptés à leur environnement	37



Les glaciers alpins ou l'effet de serre renforcé

Vivre sur une terre fiévreuse	38
Le climat	39
Temps et climat	39
Le soleil, moteur du climat	39
L'effet de serre	40
L'effet de serre atmosphérique	40
Le système climatique	40
Les glaciers alpins rétrécissent	42
Variations naturelles du climat	44
Le climat du temps passé	44
Mécanismes de rétroaction	52
Variations climatiques naturelles: conclusion	52
L'homme et le climat	53
Modification de la composition de l'atmosphère depuis 1750	53
Causes et conséquences: le GIEC	56
Que penser en définitive?	57
Mieux vaut prévenir que guérir	60
L'avenir	60
Impacts d'un changement de climat	63
Des mesures à prendre: le Protocole de Kyoto	68



La cancer de la forêt amazonienne

Carte d'identité	71
Une peau de chagrin	73
Déforestation: une question de survie pour les uns, de profits pour les autres...	74
Élevage et plantations	74
Commerce du bois	76
Exploitation minière	76
Énergie des cours d'eau	76
Ailleurs sous les tropiques	76
Le constat de la déforestation tropicale : des maux en tous genres...	77
Des extinctions en série	77
La dégradation du sol	78
La perturbation du régime des pluies	79
Un coup de pouce au réchauffement de la planète	79
Des peuples en sursis?	80
Quelques idées pour sauver les forêts tropicales	81
Garantir un niveau de vie décent aux populations rurales des tropiques	81
Créer des espaces protégés	81
Réviser les pratiques agricoles	82
Exploiter le bois tropical: d'accord, mais autrement!	83
Privilégier l'exploitation des produits non ligneux	83
Désertification	84
Causes de la désertification	85



Antarctique: le trou dans la couche d'ozone

La couche d'ozone	89
L'atmosphère	89
L'ozone. Quoi, où et comment?	90
Variations de l'ozone stratosphérique	90
Mort de l'ozone	92
La folie des CFC	92
Le trou dans la couche d'ozone au-dessus du pôle Sud	95
Et le pôle Nord alors?	99
L'ozone dans le monde	99
Des CFC «doux» ?	100
Le rayonnement ultraviolet	101
Des UV à la hausse?	101
Impact d'une augmentation des UV	102
Mesures	105
Le passage à l'action: le Protocole de Montréal	105
L'avenir	106



La mer du nord : vide-ordures et garde-manger à la fois

Une mer poubelle	109
Polluants: convois dangereux	109
Métaux lourds, pesticides, PCB et compagnie: un cocktail indigeste	111
Pétrole et cetera	115
Nitrates, phosphates et consorts	117
La grande bleue... saignée à blanc	119
L'union fait la force	120
Contre la pollution	120
Contre la surpêche	123

Les problèmes écologiques de l'estuaire de l'Escaut

Qualité de l'eau: meilleure, mais pas encore bonne...	125
Perturbations physiques	126
Disparition d'habitats et travaux de dragage	126
Approche intégrale	127



Le développement durable, une voie d'avenir

Croissance et limites	129
Croissance de la population mondiale	129
Croissance du niveau de vie	129
La pression sur l'environnement	130
L'eau	131
Notre avenir à tous	132
Priorité à la lutte contre la pauvreté	132
Rio 1992	133
Le principe de précaution	133
Intégration du coût	133
Participation et intégration	134
Action 21	134
Techniques efficaces	134
Le juste prix	135
La combinaison chauffage-force motrice	135
Le soleil et le vent	136
Le secteur de l'alimentation	136
La même chose avec moins	137
Les acteurs de l'environnement	137
Les pouvoirs publics	138
Plans de Développement durable	138
Lois et règlements	138
Instruments économiques	138
Sensibilisation et éducation	139

Les citoyens	140
Citoyens: différentes actions possibles	140
Citoyens-consommateurs	140
Respect de l'environnement quelle information?	140
Que peuvent faire les jeunes et les enfants?	141
Environnement et actes quotidiens	141
Donner son avis lors des enquêtes publiques	141
Dynamisme des associations	142
Les entreprises	142
Emploi et environnement	142
Entreprises et environnement: une attitude active	143
Le défi des substances toxiques et dangereuses	144
Système de gestion environnementale dans une entreprise	144
Une vision plus large, une attitude plus responsable	145
Communication	146
Les limites de l'action	146
Les scientifiques	146
Sciences et environnement	147
Recherche et enseignement	147
Appel de scientifiques à une prise de conscience des problèmes	148

Lexique 152

Lexique

Acteurs de l'environnement

On appelle «acteurs» des groupes tels que les entreprises, les associations de protection de l'environnement ou les scientifiques par exemple, qui sont appelés à collaborer, selon leurs capacités et responsabilités, à la mise en oeuvre d'un développement durable.

Action 21

Programme à moyen terme approuvé à la Conférence de Rio. Il comprend un grand nombre de principes et d'actions visant à un développement durable.

Aérobic

Se dit des micro-organismes nécessitant de l'oxygène pour leur métabolisme.

Aérosol

Particules très fines solides ou liquides en suspension dans l'air.

Agroforesterie

Pratique agricole dont le principe de base est le maintien ou la reconstitution d'un couvert boisé qui permet de protéger les sols cultivés vis-à-vis de l'action néfaste des pluies (lessivage et érosion).

Aigu(ë)

A l'apparition brusque et à l'évolution rapide. (Opposé à chronique).

Albédo

Mesure de la capacité d'une surface ou d'un corps à réfléchir la lumière.

Anaérobic

Se dit des micro-organismes capables de vivre en l'absence d'oxygène.

Analyse du Cycle de Vie

Analyse méthodique des impacts d'un produit sur l'environnement, depuis «le berceau jusqu'à la tombe». On peut comparer les impacts des produits entr eux à travers des «éco-bilans».

Anoxie

Déficiencia en oxígeno.

Anthropogène

Résultant d'activités humaines.

Atmosphère

Couche d'air enveloppant la Terre. L'atmosphère s'étend jusqu'à quelques centaines de km au-dessus de la surface de la Terre. Environ 85% de la masse totale de l'atmosphère se situe dans la troposphère.

Aquaculture

Élevage de poissons, de mollusques ou de crustacés, en eaux douces ou en milieu marin.

Biodiversité (ou diversité biologique)

Ce terme désigne la variété et la variabilité des organismes et des complexes écologiques dont ils font partie. La biodiversité s'exprime aux différents niveaux d'organisation du monde vivant, soit à l'échelle : 1°) du patrimoine génétique des individus, 2°) des espèces vivantes ; 3°) des écosystèmes.

Biogène

Lié aux organismes vivants.

Bioindicateur

Espèce animale ou végétale qui, en raison de ses particularités écologiques, constitue une sorte de «sentinelle» qui révèle précocement des modifications environnementales causées par les activités humaines (pollution, etc.).

Biomasse

Poids total de matière vivante. On parle par exemple de la biomasse d'une population d'animaux ou de végétaux donnés.

Biosphère

Ensemble des organismes vivant sur la Terre.

Bromure de méthyle

Produit principalement utilisé comme désinfectant du sol. Le bromure de méthyle (CH_3Br) détruit la couche d'ozone stratosphérique.

«Business as Usual»

Scénario (surtout utilisé dans les modèles climatiques) supposant que les conditions actuelles se poursuivront à l'avenir.

Canopée

En forêt, voûte de feuillage et de branchages formée par la cime des grands arbres.

Carcinogène

Cancérogène.

Carcinome

Tumeur maligne (cancéreuse).

Carotte de glace

Longue colonne de glace obtenue par forage de la calotte glaciaire.

Catalyseur

Substance accélérant une réaction chimique sans subir d'altération. Exemple: les particules de platine

et de palladium accélérant la conversion d'hydrocarbures et de CO (en CO_2 et H_2O) dans les pots catalytiques. Ce système placé entre le moteur et l'échappement d'un véhicule, assure l'épuration des hydrocarbures, du CO et des oxydes d'azote.

Cellules de Hadley

Cellules de circulation atmosphérique dans lesquelles l'air chaud et humide situé au-dessus des tropiques, s'élève jusqu'à une altitude de 20 km et redescend à une latitude de 30° (dans les deux hémisphères). De là, l'air refroidi repart vers l'équateur, en circulant à la surface de la Terre.

Cendres volantes

Résidus ultrafins de combustion, entraînés par les gaz des fumées. Les cendres volantes peuvent contenir des métaux lourds, des dioxines ou des HAP.

CFC

Chlorofluorocarbones. Les CFC «durs» sont des composés constitués de carbone, de fluor et de chlore. Ils ont été abondamment utilisés comme gaz propulseurs dans les bombes aérosol, comme agents gonflants pour les caoutchoucs mous et comme fluides réfrigérants dans les réfrigérateurs et les climatiseurs. Ils sont chimiquement très stables et ne sont détruits que par le rayonnement UV intense régnant dans la stratosphère où ils donnent naissance à des radicaux chlore qui détruisent l'ozone à une vitesse fulgurante. Les CFC «doux» (HCFC et HFC) contiennent aussi un ou plusieurs atomes d'hydrogène mais sont déjà détruits dans les couches inférieures de l'atmosphère (troposphère). Ils atteignent rarement la stratosphère et ne forment donc pas une réelle menace pour l'ozone. Néanmoins, tout comme les CFC «durs», ils constituent des gaz à effet de serre très importants. L'utilisation des CFC a été soumise à des règles strictes par le Protocole de Montréal.

Chaîne alimentaire

Terme désignant les relations alimentaires qui unissent les organismes vivant à l'intérieur d'un écosystème. Toute chaîne alimentaire répond au schéma général : végétaux – herbivores – carnivores 1 – carnivores 2, etc.

Chalut

Filet en forme d'entonnoir accroché à l'arrière du bateau (chalutier), qui permet de racler le fond de la mer ou de pêcher entre deux eaux.

Chalutage

Pêche opérée à l'aide d'un ou de plusieurs chaluts.

Chlorophylle

Chez les végétaux (et aussi certaines bactéries), pigment vert jouant un rôle essentiel dans la photosynthèse.

Chloroplaste

Éléments constitutifs des cellules des végétaux, les chloroplastes réalisent la photosynthèse, grâce à la chlorophylle qu'ils contiennent.

Chlorose

Chez les végétaux, jaunissement lié à une dégradation ou à une déficience en chlorophylle.

Chronique

Qui se développe lentement, qui dure longtemps. (Opposé à aigu(ë)).

Circulation océanique thermohaline

Courant océanique vertical, dans lequel l'eau de l'océan «coule» en raison de différences de densité, dues à des différences de température (thermo) et de salinité (haline).

Climat

Température, humidité, précipitations, vents et autres paramètres météorologiques, caractéristiques d'une zone déterminée et s'étendant sur une période de 30 ans au moins.

Combustible fossile

Source d'énergie existant sous forme de matières organiques, ayant subi au cours du temps des changements physiques et chimiques et se trouvant actuellement dans des sédiments géologiques. Exemples de combustibles fossiles courants: charbon, pétrole, gaz naturel, etc.

Composé organique de synthèse

Produit de fabrication humaine, à base de carbone, comme par exemple les PCB, les pesticides et les solvants. Ces composés contiennent souvent du chlore, comme par exemple les PCB.

Compostage

Processus selon lequel des matières organiques sont transformées par des bactéries, des moisissures et des petits organismes du sol en un produit terreux riche en humus.

Conférence de Rio

La Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) qui s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992, représente la référence majeure pour la politique internationale de l'environnement. Les États y ont approuvé notamment le programme «Action 21».

Convection

Circulation verticale au sein d'un liquide ou d'un gaz, provoquée par des différences de température. Les masses d'air ou d'eau plus chaudes (plus légères) montent, tandis que les plus froides (plus lourdes) descendent. Le mouvement ascensionnel de convection des masses d'air est un des principaux processus responsables de la condensation et de la formation des nuages.

Convention sur la diversité biologique

A pour objectifs: 1°) la conservation de la diversité du monde vivant, 2°) l'utilisation durable de ses composantes; 3°) le partage équitable des avantages découlant de l'exploitation de ses ressources génétiques. Cette convention a été proposée à la signature de plus de 150 pays, lors du «Sommet de la Terre» qui s'est tenu à Rio de Janeiro en 1992. Elle a été ratifiée par notre pays en novembre 1996, et y est entrée en vigueur le 20/02/97.

Convention sur la Lutte contre la Désertification

Convention internationale contraignante des Nations Unies, approuvée à Paris en 1994, destinée à lutter contre la désertification.

Convention sur le Climat

Convention-cadre internationale des Nations Unies pour la protection du climat.

Couche d'ozone

Couche d'air de la stratosphère, située entre 15 et 40 km d'altitude, où la concentration en ozone est élevée. La couche d'ozone protège la vie sur la Terre en absorbant les rayons UV nocifs du Soleil.

Cryosphère

Partie gelée de la surface de la Terre. Les régions cryosphériques se situent principalement autour des pôles mais aussi sur les hautes cimes continentales.

Défeuillaison (ou défoliation)

Chute des feuilles ou des aiguilles.

Dendroclimatologie

Étude de la relation entre les cernes annuels d'un arbre et le climat.

Dépérissement

Affaiblissement progressif et généralisé de l'arbre, lié à l'altération de ses fonctions vitales. Il y a dépérissement lorsqu'on observe une détérioration prolongée de l'apparence et de la croissance de l'arbre.

Développement durable

«Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs». Cette définition se trouve dans le Rapport de la Commission Mondiale de l'Environnement et du Développement, dit aussi «Rapport Brundtland» (1987), qui ouvrait la voie à la Conférence des Nations Unies de Rio (1992). L'expression «développement durable» est une traduction de «sustainable development».

Diatomée

Algues unicellulaires dont l'enveloppe est composée de silice. Cette enveloppe possède un fond et un couvercle, de telle sorte que les diatomées ressemblent à de minuscules boîtes de verre.

Diffus(e)

On dit d'une pollution qu'elle est diffuse, lorsque les polluants sont présents de manière dispersée (et non pas concentrée).

Dioxines

Ensemble de 210 substances chimiques apparentées, formées par la combustion incomplète de matières organiques en présence de substances chlorées. Les dioxines peuvent être extrêmement toxiques pour la santé (cancers, troubles hépatiques, etc.).

Eau saumâtre

Eau douce des fleuves et des nappes d'eau, mélangée à de l'eau de mer salée.

Eco-efficacité

Efficacité technologique qui minimise l'impact sur l'environnement et l'utilisation des matières premières.

Écosystème

Ce terme désigne l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques d'un milieu donné (le biotope) et sa communauté d'êtres vivants (la biocénose). Biotope et biocénose sont en interaction constante l'un avec l'autre. La notion d'écosystème peut s'appliquer à différentes échelles: une forêt, mais aussi un tronc d'arbre qui pourrit; un océan, mais aussi une petite mare d'eau, etc.

Effet de serre

Réchauffement de l'atmosphère (et de la surface de la Terre) dû au fait que certains gaz absorbent le rayonnement infrarouge thermique dégagé par la Terre (et le renvoient en partie vers la surface de celle-ci). L'effet de serre est un phénomène naturel qui est renforcé par l'émission anthropogène de CO₂ et d'autres gaz dits «à effet de serre».

El Niño Southern Oscillation (ENSO)

Perturbation périodique du système climatique de l'océan Pacifique (entre l'Indonésie et l'Amérique du Sud), influençant les vents, les courants océaniques et le temps (précipitations, tempêtes, etc.) du monde entier.

Endémique

Se dit d'une espèce vivante exclusivement liée à une aire géographique donnée (généralement de faible étendue).

Epiphyte

Se dit d'une plante qui utilise un autre végétal (généralement un arbre) en tant que support physique, mais qui assure indépendamment sa propre alimentation (tant en eau qu'en éléments minéraux nutritifs, qu'en sucres élaborés par la photosynthèse).

Erosion

Phénomène qui résulte de l'action de l'eau ou des vents, et qui provoque l'enlèvement des couches supérieures du sol (ainsi que la dégradation des roches quand le sous-sol affleure).

Essence forestière

Pour désigner un arbre d'une espèce donnée, les sylviculteurs préfèrent utiliser le terme «essence».

Estuaire

Zone côtière où un cours d'eau et l'océan ou la mer se rejoignent et où l'eau douce se mélange à l'eau salée. Les estuaires sont généralement des zones très productives, où la biodiversité est importante, mais très sensibles à la pollution.

Etude d'impact sur l'environnement

Etude multidisciplinaire des impacts d'un projet (industrie, route, ...) sur l'environnement. Elle est effectuée en principe avant de mettre en oeuvre ce projet et afin de prévenir ses dommages.

Eutrophisation

Enrichissement excessif des eaux (douces ou marines) en éléments nutritifs pour les algues (de l'azote et du phosphore sous diverses formes chimiques, comme par exemple des nitrates, de l'urée, des phosphates, etc.). Ce phénomène provoque une prolifération anarchique des algues.

Faune

Ensemble des animaux vivant dans une région donnée.

Feed-back ou mécanisme de rétroaction

Processus selon lequel un système renforce (feed-back positif) ou atténue (feed-back négatif) un changement imposé.

Flore

Ensemble des espèces végétales d'une région déterminée.

Gaz à effet de serre

Gaz ayant d'excellentes capacités d'absorption des radiations infrarouges et contribuant à l'effet de serre. Exemples: dioxyde de carbone, vapeur d'eau, méthane, ozone, gaz hilarant, CFC,...

General Circulation Model (GCM)

Modèle informatique basé sur des lois physiques, exprimé en équations mathématiques et décrivant la dynamique atmosphérique et océanique. Dans de nombreux cas, les GCM atmosphériques et océaniques sont couplés. Ces modèles tiennent également compte de divers processus influençant le système climatique complexe, tels que les interactions terre-océan ou glaces océaniques-atmosphère. Les GCM sont utilisés pour déterminer l'impact de la hausse de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère (due aux activités humaines) sur le climat futur.

Géosphère

Matières solides à la surface de la Terre (rochers, montagnes, continents,...).

Gestion environnementale d'une entreprise

Gestion qui respecte l'environnement, dans le cadre de toutes les activités de l'entreprise. Cette gestion comprend généralement un audit environnemental.

Gestion intégrale de l'eau

Gestion de l'eau considérant comme un système aquatique cohérent, les eaux de surface et les eaux souterraines, la structure des ruisseaux et des bords de l'eau, ainsi que les organismes qui y vivent. Ses objectifs centraux sont entre autres l'utilisation durable des eaux de surface et des eaux souterraines, ainsi que la protection et le rétablissement de la qualité de l'eau des systèmes aquatiques.

Giga

Élément qui multiplie par un milliard (10⁹) l'unité devant laquelle il se trouve. Une gigatonne est égale à un milliard de tonnes ou 10¹⁵ grammes.

Gigajoule

10⁹ joule (un milliard de joules). Unité mesurant l'énergie. A titre d'exemple, une tonne de mazout a un pouvoir calorifique (PCI) de 36 gigajoules.

Glaciation

Période durant laquelle des conditions climatiques plus froides persistent assez longtemps

pour que des calottes glaciaires continentales et polaires et des glaciers se forment dans le monde entier. Une glaciation ou période glaciaire dure en moyenne 50.000 – 100.000 ans et est précédée d'une période interglaciaire.

Habitat

Lieu de vie, environnement immédiat d'une espèce vivante donnée.

Holocène

Période interglaciaire actuelle qui a commencé il y a quelque 12.000 ans.

Hydrocarbure

Composé organique contenant exclusivement du carbone et de l'hydrogène. Le pétrole et ses produits dérivés (essence, benzine, kérosène, gazole, mazout, bitume, huiles de graissage, paraffine, etc) contiennent des hydrocarbures.

Hydrocarbures aromatiques

Hydrocarbures ayant au moins une chaîne fermée benzénique.

Hydrocarbures aromatiques polycycliques

Groupe de composés organiques dont la structure de base se compose de plusieurs chaînes fermées benzéniques. Le plus toxique est le benzopyrène.

Hydrosphère

Ensemble des éléments liquides de la Terre (océans, fleuves, lacs,...).

Instrument économique

La modification du prix d'un produit en fonction de son impact – plus cher si plus polluant, moins cher si moins polluant – constitue le principal instrument économique en matière d'environnement. Un autre exemple est constitué par des «quotas» d'émission qui peuvent se vendre ou s'acheter («permis négociables»).

Inversion de température

Situation atmosphérique dans laquelle la température augmente avec l'altitude. Les inversions fonctionnent comme des plafonds empêchant la convection et entraînent l'impossibilité pour les polluants éventuellement présents dans la couche inférieure de l'atmosphère de s'échapper. Dans la troposphère, une inversion de température crée en général des conditions atmosphériques stables.

Ion

Atome ou groupe d'atomes portant une charge électrique. Ex.: K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺,...

Label écologique

Indication sur un produit qui indique la conformité de celui-ci avec des critères écologiques précis. Les véritables labels sont contrôlés. Certains comprennent aussi des critères sociaux.

Matière minérale

Désigne la composition du monde inerte. Il s'agit de composés chimiques dans lesquels le carbone n'intervient généralement pas (comme par exemple l'oxygène de l'air et les sels minéraux du sol), à l'exception de quelques composés simples comme par exemple le gaz carbonique (CO₂) et le monoxyde de carbone (CO). (Opposé à matière organique). De nombreux composés minéraux sont nécessaires à l'alimentation des végétaux.

Matière organique

Désigne les composés du carbone qui entrent dans la constitution des organismes vivants (végétaux, animaux, champignons, bactéries), et qui se retrouvent dans leurs débris, cadavres, excréments, etc. Il s'agit notamment des protéines, des sucres (ou glucides), des graisses (ou lipides), de l'ADN, etc. (Opposé à matière minérale).

Mélanome

Tumeur constituée par des cellules pigmentées (capable de produire de la mélanine).

Métaux lourds

Métaux d'une densité supérieure à 5g/cm³. Exemples: arsenic, plomb, mercure, cuivre, zinc, cadmium, chrome, nickel,... Les métaux lourds ne sont pas biodégradables et lorsque leur concentration est trop élevée, ils peuvent s'avérer toxiques pour les organismes vivants dont l'homme.

Micro-organismes décomposeurs

Il s'agit essentiellement de bactéries et de champignons de type moisissures, qui vivent dans et sur le sol, et se nourrissent des débris végétaux et animaux (feuilles et branches mortes, fleurs fanées, fruits pourrissants, excréments, cadavres, ...) La digestion de ces déchets libère les éléments nutritifs qui y étaient emmagasinés, les rendant à nouveau disponibles pour les arbres et les plantes de l'écosystème. Les micro-organismes décomposeurs assurent donc le recyclage des déchets de matière organique en matière minérale nécessaire à l'alimentation des végétaux.

Mycorhize

Association à bénéfices réciproques (ou symbiose) entre un champignon et les racines d'un arbre. La partie souterraine des champignons, un ensemble de filaments microscopiques qui porte le nom de

mycélium, est associée intimement aux racines de l'arbre. Elle forme un réseau qui, entre autres services rendus, facilite à l'arbre l'absorption de l'eau et des éléments minéraux nutritifs. En contrepartie, l'arbre fournit notamment au champignon des sucres élaborés grâce à la photosynthèse.

Nécrose

Altération d'un organe ou d'un tissu consécutive à la mort d'une partie ou de l'ensemble de ses cellules.

Nitrification

Processus par lequel des micro-organismes des sols ou des eaux (dont des bactéries) transforment l'azote atmosphérique (N₂) ou l'azote ammoniacal (NH₃, NH₄⁺) en nitrates (NO₃⁻).

NO_x

Oxydes d'azote (NO et NO₂).

Ozone

Forme d'oxygène dans laquelle trois atomes d'oxygène donnent une molécule (O₃). Dans la stratosphère, l'ozone retient les rayons UVB nocifs du Soleil. Au sol, l'ozone est un polluant produit par différents gaz polluants (NO_x et hydrocarbures) en présence d'un rayonnement solaire intense.

Paléoclimat

Climat du passé.

PAN

Peroxy-acétyl-nitrate (ou nitrate de peroxyacide), une des composantes du smog (photochimique) d'été.

Petit âge glaciaire

Période entre 1400 et 1850 environ, dominée par des conditions climatiques froides et caractérisée par des hivers longs et rudes et des étés courts et humides. La température moyenne à l'époque atteignait -1,5°C de moins que maintenant.

pH

Unité exprimant le degré d'acidité (concentration d'ions hydrogène) d'une solution. Une solution neutre a un pH de 7. Le pH d'une solution acide ou basique est respectivement inférieur ou supérieur à 7.

Pathogène

Qui peut causer une maladie.

PCB (Polychlorobiphényles)

Groupe de plus de 200 composés organiques de synthèse. Ce sont des hydrocarbures cycliques de la famille des composés aromatiques chlorés. Grâce à leurs propriétés intéressantes (stabilité thermique,

résistance au feu, conductivité électrique, caractère lubrifiant, etc.), les PCB sont utilisés dans de nombreux équipements électriques (transformateurs, condensateurs, résistances, etc.) Ils se retrouvent, entre autres, dans les luminaires, les appareils électro-ménagers, mais aussi dans certaines peintures, vernis, encres et mastics. En raison de leur caractère toxique, les pays de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (O.C.D.E.) ont décidé, au début des années 90, d'interdire la production. Depuis lors, des stratégies d'élimination des équipements contenant des PCB ont également été mises en place.

Photosphère

Couche opaque délimitant le contour d'une étoile (Soleil), d'une épaisseur de quelques centaines de kilomètres, à l'intérieur de laquelle la lumière visible de l'étoile se forme.

Photosynthèse

Chez les végétaux (et aussi certaines bactéries), production de sucres à partir d'eau et de gaz carbonique (CO₂) de l'air, grâce à la chlorophylle et à l'énergie solaire. Au cours de ce phénomène, de l'oxygène (O₂) est produit. La photosynthèse est d'une importance écologique capitale, car c'est le seul mécanisme appréciable permettant de passer de la matière minérale (ici, de l'eau et du gaz carbonique) à la matière organique (ici, des sucres). En définitive, tous les animaux, qu'ils soient herbivores ou carnivores, dépendent de la photosynthèse pour leur alimentation.

Phytoplancton

Plancton végétal.

Plancton

Terme général qui désigne les organismes aquatiques végétaux et animaux peu mobiles, voire incapables de mouvement propre, qui vivent dans les eaux douces ou marines et qui sont soumis aux mouvements des courants horizontaux et verticaux. Il peut s'agir de bactéries, de diatomées et d'autres algues microscopiques, de crustacés microscopiques et de larves de poissons ou d'invertébrés (crustacés, mollusques, anémones de mer, étoiles de mer, oursins, méduses, ...).

Pluie acide

Pluie, neige ou gouttes de brouillard dont le pH est inférieur à 5,6. La pluie normale a un pH naturel d'environ 5,6 et est donc déjà légèrement acide.

Polluant

Sous-produit d'activités anthropogènes, libéré dans l'environnement et susceptible d'être nuisible pour l'homme, les plantes et les animaux.

Pollution atmosphérique photochimique

Pollution atmosphérique secondaire résultant de la réaction entre des hydrocarbures et des oxydes d'azote sous l'influence de la lumière solaire. Elle entraîne la formation d'ozone et d'autres produits photochimiques (dont les PAN) (voir aussi smog d'été).

ppb

En anglais «part per billion». Unité de concentration qui correspond à une partie par milliard. (Par exemple : une molécule par milliard de molécules).

ppm

En anglais «part per million». Unité de concentration qui correspond à une partie par million. (Par exemple : une molécule par million de molécules).

Précurseur

Substance précédant la formation d'une autre substance (les hydrocarbures et le NO sont des précurseurs de l'ozone).

Principe de précaution

Principe selon lequel, en cas de risques majeurs, l'absence de certitude scientifique ne doit pas justifier l'absence de précaution.

Protocole de Kyoto

Protocole approuvé à Kyoto (Japon) en décembre 1997, limitant l'émission de quelques gaz importants à effet de serre, tels que le CO₂, le CH₄ et le N₂O.

Protocole de Montréal

Protocole pour la protection de la couche d'ozone stratosphérique, conclu à Montréal en 1987. Ce protocole a été modifié et adapté à Londres (1990), à Copenhague (1992) et à Vienne (1995). Il interdit l'utilisation et la production de substances destructrices d'ozone comme les CFC, les HBFC, les halons, etc.

Radical

Atome ou groupement d'atomes possédant un électron impair. Des radicaux libres se forment dans l'atmosphère à la suite de l'absorption de lumière solaire par une molécule, entraînant la rupture d'une liaison chimique. Ces radicaux sont extrêmement réactifs. Ils sont conventionnellement représentés par un point noir placé après l'atome ou le groupement d'atomes (ex.: Cl^{*}).

Rayonnement infrarouge (IR)

Rayonnement thermique à ondes longues (longueur d'onde de plus de 700 nm). Une partie de ces rayons est absorbée par les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère.

Rayonnement ultraviolet (UV)

Partie de la lumière solaire dont la longueur d'onde varie entre 100 et 400 nm (ondes courtes). Conventionnellement, le domaine ultraviolet est subdivisé en 3 groupes: les UV-C (100-280 nm), les UV-B (280-320 nm) et les UV-A (320-400 nm). Une exposition accrue aux UV-B est biologiquement nocive.

Schorre

Partie haute des vasières littorales, recouverte uniquement aux hautes mers (tempêtes ou grandes marées) et donc peuplée de végétation (prés salés).

Sédiment

Vase, sable, ou tout autre matériau se déposant sur le fond de la mer, dans les zones d'eau stagnante, sur les rives d'un cours d'eau, etc.

Seringueiro

Terme utilisé en Amazonie pour désigner quelqu'un qui récolte le latex des hévéas.

Slikke

Partie basse des vasières littorales, recouverte à chaque marée. Les schorres sont situées derrière les slikkes.

Smog

Contraction des mots «smoke» (fumée) et «fog» (brouillard). Voir smog d'hiver et smog d'été.

Smog d'été (ou smog photochimique)

Smog produit les jours chauds et ensoleillés, favorisant la formation photochimique de l'ozone. Le mélange d'ozone, de NO₂ et d'une série d'autres produits photochimiques (aldéhydes, PAN) forme alors avec les innombrables particules de poussière en suspension dans l'air un brouillard brun jaune bleuté.

Smog d'hiver

Smog apparaissant surtout les jours froids et humides, quand de grandes quantités de SO₂, de CO et de particules en suspension sont présentes dans l'air, permettant la formation de gouttelettes d'acide sulfurique. Un brouillard (sulfaté) gênant considérablement la vue, se forme alors.

Stomate

Chez les végétaux, minuscules orifices naturels dans l'épiderme du feuillage. Leur ouverture ou leur fermeture permet de réguler les échanges d'oxygène (O₂), de gaz carbonique (CO₂) et de vapeur d'eau que les végétaux réalisent avec le milieu extérieur lors de la respiration et de la photosynthèse.

Stratosphère

Partie de l'atmosphère située entre 15 et 50 km d'altitude, comprenant la couche d'ozone.

Surpêche

Surexploitation des stocks des poissons résultant de captures excessives et le plus souvent non sélectives.

Sylviculteur

Exploitant de forêt(s).

Symbiose

Association à bénéfices réciproques entre les partenaires.

Système immunitaire

Système de défense naturel du corps contre les corps étrangers (agents pathogènes par exemple).

TBT

Le tributyl-étain est un pesticide appliqué sur la coque des navires, pour éviter que des algues, des mollusques et d'autres organismes aquatiques ne s'y développent.

Terminal pétrolier

Ensemble des installations pour le chargement et le déchargement des pétroliers, et le stockage des produits pétroliers, à l'extrémité d'un pipeline (ou oléoduc).

Théorie de Milankovitch

Théorie astronomique, conçue par Milutin Milankovitch dans les années 20, établissant un lien entre la position relative de la Terre par rapport au Soleil et les changements climatiques naturels généraux à long terme, survenant sur la Terre (tels que périodes glaciaires et interglaciaires).

Toxine

Substance d'origine biologique ayant des propriétés toxiques.

Toxique

Qui agit comme un poison.

Tropopause

Couche formant la limite entre la troposphère et la stratosphère, caractérisée comme étant le point où la température ne baisse plus avec l'altitude.

Troposphère

Couche inférieure de l'atmosphère, s'étendant du sol à environ 15 km d'altitude (base de la stratosphère). La plupart des phénomènes météorologiques se déroulent dans la troposphère, où la température baisse progressivement avec l'altitude.

Unité Dobson

Une unité Dobson (D) correspond à une pellicule de 0,01 mm d'ozone pur à une pression et une température standard (1 atmosphère et 0°C). Un Dobson est donc égal à un «milli-atmosphère et centimètre» et correspond à une concentration atmosphérique moyenne d'environ 1 particule d'ozone par milliard de particules d'air (1 ppb). Les quantités d'ozone typiques dans l'atmosphère varient entre 230 et 500 D, avec une moyenne mondiale de 300 D.

Vase

Dépôt se formant au fond de l'eau, libéré lors de l'entretien des cours d'eau navigables.

Waldsterben

Terme allemand désignant le dépérissement des forêts, provoqué notamment par les pluies acides.

Zooplancton

Plancton animal.

Abréviations

CELINE	Cellule interrégionale de l'Environnement
CIEM	Conseil international pour l'Exploration de la Mer
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GIEC	Groupe intergouvernemental d'Experts pour l'Étude du changement climatique (en anglais: IPCC)
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques
IBGE	Institut bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (et l'Énergie)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (en français: GIEC)
IRM	Institut royal météorologique (de Belgique)
IRScNB	Institut royal des Sciences naturelles de Belgique
IUCN	Union internationale pour la Conservation de la Nature (et des ressources naturelles)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement économiques
OMM	Organisation météorologique mondiale (en anglais: WMO)
(O)NU	(Organisation des) Nations Unies
PRG	Potentiel de Réchauffement global
PSC	Polar Stratospheric Clouds
UGMM	Unité de Gestion du Modèle mathématique de la mer du Nord et de l'Estuaire de l'Escaut, Département de l'IRScNB
UNEP	United Nation Environment Programme
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
WMO	World Meteorological Organisation
WWF	World Wide Fund for nature

Symboles chimiques

CO	monoxyde de carbone
CO ₂	dioxyde de carbone
SO ₂	dioxyde de soufre
NO	oxyde d'azote
NO ₂	dioxyde d'azote
N ₂ O	protoxyde d'azote (ou oxyde nitreux dit "gaz hilarant")
CH ₄	méthane
O ₂	oxygène
O ₃	ozone
N ₂	azote
H ₂ SO ₄	acide sulfurique
H ₂ CO ₃	acide carbonique
HNO ₃	acide nitrique
NH ₃	ammoniac
CaCO ₃	carbonate de calcium
CaSO ₄	sulfate de calcium
HCl	acide chlorhydrique (esprit-de-sel)
Ca	calcium
Mg	magnésium
K	potassium
H	hydrogène
Pb	plomb
Cd	cadmium
Hg	mercure
Cr	chrome
Cu	cuivre
Zn	zinc
PVC	polychlorure de vinyle (ou chlorure de polyvinyle)
PET	polyéthylène téréphtalate
H ₂ O	eau

Table des illustrations

Illustrations thématiques

Yannart G., IRScNB

- p. 8 Meunier C., «Le Pays noir – Borinage», Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique, photo de Speltdoorn.
- p. 9 Wildlife Pictures, Edwards M./Still Pictures.
- p. 10 IBGE.
- p. 11 PhotoDisc. Vol 31 (haut); Hubin T., IRScNB (bas).
- p. 12 Cobut G., IRScNB.
- p. 13 D'après Vandecasteele C., Milieuproblemen, KUL (haut); Wildlife Pictures, Edwards M./Still Pictures (bas).
- p. 15 Wildlife Pictures, Etchart/Still Pictures.
- p. 16 IMAGES model, Müller J.-F., IAS (haut); IBGE (bas).
- p. 17 Goodshoot, n° 34 (haut); IBGE (bas).
- p. 18 Op de Beeck L., IRScNB (haut); Hubin T., IRScNB (bas).
- p. 19 The Independent/Tom Pilston.
- p. 20 Op de Beeck L., IRScNB (d'après Stolley P.D. & Lasky T., Epidemiologie. Speuren naar patronen van ziekte en gezondheid, Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur en Techniek, Segment Uitgeverij, 1997) (haut); Op de Beeck L., IRScNB (milieu et bas).
- p. 21 Wildlife Pictures, Edwards M./Still Pictures.
- p. 22 De Witte E., Institut royal du Patrimoine artistique.
- p. 25 Op de Beeck L., IRScNB (d'après IBGE, Samenvatting van het planontwerp betreffende de preventie en het beheer van afvalstoffen) (haut); Hubin T., IRScNB (bas).
- p. 28 Devesteele M.
- p. 29 Unité des Eaux et Forêts, UCL (haut, gauche et droite); Hubin T., IRScNB (bas, gauche et droite).
- p. 30 Lowie V., IRScNB.
- p. 31 Golinvaux P., IRScNB.
- p. 32 Golinvaux P., IRScNB (haut); Cnops N. (bas).
- p. 33 Unité des Eaux et Forêts, UCL (haut, gauche); Krause G., Landesanstalt für Immissionsschutz, Essen (haut, droite); Dulière J.-F., Université de Mons-Hainaut (bas).
- p. 34 Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, Commission européenne, «Etat des forêts en Europe; rapport de synthèse 1997».
- p. 37 Hubin T., IRScNB.
- p. 38 PhotoDisc. Vol 31.
- p. 39 Op de Beeck L., IRScNB (d'après IPCC, Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Houghton J.T. et al (éd.), Cambridge University Press).
- p. 41 Op de Beeck L., IRScNB (haut); Dekeyzer C., IRScNB (bas).
- p. 42 Op de Beeck L., IRScNB (d'après IPCC, Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Houghton J.T. et al (éd.), Cambridge University Press).
- p. 43 Courtesy H. Zumbuehl, d'après U. Schotterer & P. Andermatt, Climate our future.
- p. 44 IPCC, Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Houghton J.T. et al (éd.), Cambridge University Press (haut); Op de Beeck L., IRScNB (d'après IPCC, Climate Change 1995) (bas).
- p. 45 D'après Imbrie J. et al., in Climate and Geo-sciences, Berger A., Schneider S. et Duplessy J.-C. (éd.), p.121-164, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Holland), 1989 (haut); Op de Beeck L., IRScNB (d'après Andersen B.G. & Borns H.W., The Ice Age World, Scandinavian University Press) (bas).
- p. 46 Op de Beeck L., IRScNB (d'après Duursma E.K., Natuur en Techniek, 62, 11, 1994).
- p. 47 Dubois F., Amateursterrenwacht ADONIS (haut); d'après Kaler J.B., Sterren, Sleutels tot begrip van ons heelal, Natuur en Techniek, Maastricht/Brussel, 1994 (bas).
- p. 48 PhotoDisc. Vol 31.
- p. 49 Dekeyzer C., IRScNB (d'après "Winterlandschap", Pierre Breughel le Jeune (gauche); Lonnie G. Thompson, Byrd Polar Research Center, Ohio State University (droite)).
- p. 50-51 Twickler M., Institute for the Study of Earth, Oceans and Space, University of New Hampshire.
- p. 52 Wildlife Pictures, Maier J./ Still Pictures.
- p. 53 PhotoDisc. Vol 31.
- p. 54 IPCC, Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Houghton J.T. et al (éd.), Cambridge University Press (haut); Atmospheric Change, An Earth System Perspective, Graedel T.E. & Crutzen P.J., W.H. Freeman and Company, New York (milieu); IPCC, Climate Change: The IPCC Scientific Assessment, Houghton J.T. et al. (éd.), Cambridge University Press, 1990 (bas).
- p. 55 Lorius C. et al., Nature, 347, 139, 1990 (haut); Wildlife Pictures, Henno R. (bas).
- p. 56 Hubin T., IRScNB.
- p. 58 Hadley Center for Climate Prediction and Research, Meteorological Office, Bracknell, UK.
- p. 61 IPCC, Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Houghton J.T. et al (éd.), Cambridge University Press (haut et bas).
- p. 62 Jenkins G., Hadley Center for Climate Prediction and Research, Meteorological Office, Bracknell, UK.
- p. 63 IPCC, Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Houghton J.T. et al (éd.), Cambridge University Press.
- p. 64 IPCC, Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, Watson R.T. et al (éd.), Cambridge University Press.
- p. 65 Wildlife Pictures, Guarita C./Still Pictures (haut); Wildlife Pictures, Bloch H./Still Pictures (bas).
- p. 66 Wildlife Pictures, Edwards M./Still Pictures.
- p. 67 PhotoDisc. Vol 31.
- p. 69 Wildlife Pictures, Sheng/Still Pictures.
- p. 70 Golinvaux P., IRScNB.

- p. 71 Billiet F., Jardin Botanique National de Belgique (haut, droite); Wildlife Pictures, Edwards M./Still Pictures (bas, gauche); Wildlife Pictures, Montford/Bios (bas, droite).
- p. 72 Billiet F., Jardin Botanique National de Belgique (1ère et 2ème à gauche); Wildlife Pictures, Fogden M./OSF (3ème à gauche, 2ème et 3ème à droite); Wildlife Pictures, Rey-Millet/Bios (4ème à gauche); Wildlife Pictures, Dufresne/Bios (1ère à droite).
- p. 73 Golinvaux P., IRScNB (d'après Fearnside P.M., «Amazonie: la déforestation repart de plus belle», La Recherche, n(294, pp.44-46, 1997) (haut); Billiet F., Jardin Botanique National de Belgique (bas).
- p. 74 Wildlife Pictures, Edwards M./Still Pictures.
- p. 75 Wildlife Pictures, Edwards M./Still Pictures (haut); Neut J., IRScNB (d'après Withmore T.C., An introduction to tropical rain forests, Clarendon Press, Oxford, 1990) (bas).
- p. 76 Wildlife Pictures, Heuclin/Bios (haut); Wildlife Pictures, Edwards M./Still Pictures (bas).
- p. 78 Hubin T., IRScNB.
- p. 79 Golinvaux P., IRScNB.
- p. 80 Wildlife Pictures, Giradet H./Still Pictures.
- p. 81 Wildlife Pictures, Giradet H./Still Pictures.
- p. 84-87 Poesen J., Instituut voor Aardwetenschappen, KUL.
- p. 88 Chapelle G., IRScNB.
- p. 89 Op de Beeck L., IRScNB.
- p. 90 Op de Beeck L., IRScNB.
- p. 91 De Backer H., IRM (gauche); NASA, Goddard Space Flight Center (R. Wooldridge) (droite).
- p. 92 NASA, Goddard Space Flight Center (R. Wooldridge).
- p. 93 IRM (haut); Wildlife Pictures, Maslennikov A./Still Pictures (bas).
- p. 94 Bojkov R.D., The Changing Ozone Layer, WMO/UNEP, 1995.
- p. 95 Hofmann et al., Geophysical Research Letters, 22(18), 2493, 1995 (haut); NASA, Goddard Space Flight Center (R. Wooldridge) (bas).
- p. 96 British Antarctic Survey (haut); Op de Beeck L., IRScNB (d'après Wellburn A., Air Pollution and Climate Change. The Biological Impact, Wiley J. & Sons (ed.), NY, 1994) (bas).
- p. 97 Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (haut); Op de Beeck L., IRScNB (d'après Commission Européenne, DG XII, Chemistry in the Atmosphere, 1993.) (bas).
- p. 98 NASA, Goddard Space Flight Center (R. Wooldridge) (haut et bas).
- p. 99 Bojkov R.D., The Changing Ozone Layer, WMO/UNEP, 1995.
- p. 101 De Backer H., IRM.
- p. 103 De Dobbeleer, Hôpital Erasme.
- p. 104 Dekeyser C., IRScNB.
- p. 105 Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) Program Office, Washington DC, USA. (RIVM).
- p. 106 Bojkov R.D. The Changing Ozone Layer, WMO/UNEP, 1995.
- p. 107 ALE/GAGE/AGAGE global network program. (RIVM) (haut); Chapelle G., IRScNB (bas).
- p. 108 Neut J., IRScNB (d'après le Water Research Centre, 1995).
- p. 109 North Sea Quality Status Report 1993 (haut); Hubin T., IRScNB (milieu et bas).
- p. 110 Hubin T., IRScNB (haut); Donnay E., UGMM, IRScNB (bas).
- p. 111 Op de Beeck L., IRScNB (d'après Ramade F., Sci. Prog., La Nature, Dunod éd., 1968).
- p. 112 Declerck D., Centrum voor Landbouwkundig Onderzoek – Gent, Departement Zeevisserij.
- p. 113 Hubin T., IRScNB (haut); Sheridan R. (bas).
- p. 114 Donnay E., UGMM, IRScNB.
- p. 115 UGMM, IRScNB.
- p. 116 Wildlife Pictures, Brochier A.
- p. 117 Op de Beeck L., IRScNB (d'après Braunwarth A. et Bertrand P., Au menu: le plancton, Archimède, L'école des loisirs, Paris, 1993).
- p. 118 Hubin T., IRScNB (haut); Op de Beeck L., IRScNB (d'après Braunwarth A. et Bertrand P., Au menu: le plancton, Archimède, L'école des loisirs, Paris, 1993) (bas, gauche); Rousseau V., GMM, ULB (bas, droite).
- p. 119 Defossez L., IRScNB (d'après OSPARCOM, 1992) (gauche); North Sea Quality Status Report 1993 (droite).
- p. 121 Hubin T., IRScNB.
- p. 124 Hubin T., IRScNB.
- p. 125 Meire P., Instituut voor Natuurbehoud (haut et bas)
- p. 126 Meire P., Instituut voor Natuurbehoud.
- p. 127 Vandamme B., Instituut voor Natuurbehoud.
- p. 128 Wildlife Pictures, Henno R.
- p. 129 PhotoDisc. Vol 31 (haut et milieu); Goodshoot n°22 (bas).
- p. 130 Goodshoot n°27.
- p. 131 PhotoDisc. Vol 31.
- p. 132 Wildlife Pictures, Edwards M./Still Pictures.
- p. 134 Goodshoot n°29.
- p. 135 PhotoDisc. Vol 31.
- p. 136 PhotoDisc. Vol 31.
- p. 137 Stockbyte CD 11.
- p. 138 Goodshoot n°38.
- p. 139 Hubin T., IRScNB (haut); Goodshoot n°33 (bas).
- p. 140 D'après Commission Européenne, DG XI, Caring for our future (haut); Stockbyte CD 9 (bas, gauche); CRIOC & Max Havelaar (bas, droite).
- p. 141 PhotoDisc. Vol. 31 (haut); Stockbyte CD 6 (bas).
- p. 143 Goodshoot n°29.
- p. 144 PhotoDisc. Vol. 31.
- p. 145 Zaccari E., ULB.
- p. 146 Goodshoot n°26.
- p. 147 Stockbyte CD 21.
- p. 148 Stockbyte CD 3.

© Éditions Lannoo SA, Tielt – 1998

TEXTES

Pascale Corten-Gualtieri
Walter De Jonge
Philippe Van Haver
et Edwin Zaccà

RÉDACTION FINALE ET TRADUCTION

Nicole Malleux/Pascale Corten-Gualtieri

PHOTOS ET DESSINS

Voire crédits photographiques,
pages 158 et 159

CONCEPT COUVERTURE

Damien Bihl, NAos Design

MISE EN PAGES

Aplanos

IMPRIMÉ ET RELIÉ

Imprimerie Antilope, Lier
Printed in Belgium
Ce livre est imprimé sur un papier biodégradable (50% recycl. désencré + 50% TCF).

ISBN 90 209 3480 5

Dépôt légal D/1998/45/258

L'éditeur s'est efforcé de déterminer les droits relatifs aux illustrations en vertu des dispositions légales. Toute personne qui entend faire valoir des droits peut encore s'adresser à l'éditeur.

Tous droits réservés. Aucun élément de cet ouvrage ne peut être dupliqué, enregistré dans un fichier automatique et/ou publié sous quelque forme ou de quelque manière que ce soit, par le biais d'un procédé électronique, mécanique ou autre sans autorisation écrite préalable de l'éditeur.

vivre ou survivre?

Quelles sont les principales modifications dans l'environnement au niveau mondial? Sont-elles réversibles? La Terre supporte-t-elle de telles modifications? Quelles seront les conséquences pour la (sur)vie de l'homme? Est-il possible, grâce à un développement durable, de donner à chacun l'existence à laquelle il a droit?

Cet ouvrage instructif essaie d'offrir une réponse à toutes ces questions en creusant certains thèmes, comme l'effet de serre, les modifications climatologiques, la menace qui pèse sur la biodiversité, la disparition de nos forêts, le trou dans la couche d'ozone, la surexploitation dans notre environnement.

Vivre ou survivre aborde également le concept du « développement durable », c.-à-d. la réduction de la pression sur la nature, et met en lumière l'état actuel des recherches. Ses dizaines de photos, de dessins et de graphiques illustrent cet ouvrage, qui se raccroche à l'exposition interactive du même nom conçue par l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique. Au seuil du XXI^e siècle, **Vivre ou survivre** tente de faire réfléchir et incite aux actions positives.

lannoo

Institut royal
des Sciences naturelles
de Belgique

