

51/85



COUNCIL
OF EUROPE

CONSEIL
DE L'EUROPE

Naturoopa



centre
européen
d'information
pour la
conservation
de la
nature



Symbole des activités du Conseil de l'Europe pour la conservation de la nature.

Naturopa est publié en anglais, en français, en allemand et en italien, par le Centre européen d'information pour la conservation de la nature du Conseil de l'Europe, BP 431 R6, F-67006 Strasbourg Cedex.

Editeur responsable: Hayo H. Hoekstra
Conception et rédaction:
Annick Pachod

Conseiller spécial de ce numéro:
Prof. H. Mohr - Université de Freiburg
Imprimeur: Massoz S.A.,
Liège (Belgique)

Photogravure: Gam Graphic,
Herstal (Belgique)

Les textes peuvent être reproduits librement, à condition que toutes les références soient mentionnées. Le Centre serait heureux de recevoir un exemplaire témoin, le cas échéant. Tous droits de reproduction des photographies sont expressément réservés.

Les opinions exprimées dans cette publication n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues du Conseil de l'Europe.

Couverture: (Photo G. Lacoumette)
Dos : (Photo G. Lacoumette)

Légendes des illustrations pages 16-17:

1. Forêt d'Europe (Vosges) (Photo G. Baumgart)
2. Felix sylvestris (Photo S. Cordier)
3. Tetrastes bonasia (Photo J.L. Klein)
4. Forêt d'Europe méditerranéenne (Turquie) (Photo T. Gürpınar)
5. Martes martes (Photo S. Cordier)
6. Myotis myotis (Photo S. Cordier)

Naturopa

N° 51 - 1985

Editorial	Robert Krieps	3
Les effets	Guy Landmann	4
Programme de lutte	Ministère suédois de l'Agriculture	8
Un combat transfrontalier	Louis Jung	11
«Waldsterben»	Erwin Lauterwasser	12
Bilan critique	Hans Mohr	18
Le coût	Jacob Swager	21
Quand les pierres dépérissent	Giorgio Torraca	23
Le rôle de l'industrie	Max Steiner	25
Exemple de coopération	Robert J. Downing	28

«Pluies acides...»

Un homme qui a marché sur la lune nous a confirmé que la terre était notre seule planète. On nous répète et on nous montre en toutes circonstances que sans environnement salubre, nous sommes directement menacés — même si nous nous désintéressons des autres formes de vie.

Avons-nous entendu? Avons-nous compris?

Dans des numéros antérieurs nous avons déjà fait brièvement allusion aux lacs silencieux des pays scandinaves d'où la vie s'est retirée à cause de l'acidité de l'eau. Aujourd'hui, en cette Année de la forêt de la FAO, c'est au tour des forêts (qui disparaissent à un rythme alarmant dans le monde entier) de montrer que quelque chose ne tourne vraiment pas rond.

«Pluies acides» ou «Waldsterben» selon l'inquiétante expression allemande, les forêts européennes semblent appeler au

secours. Si elles sont malades et meurent par notre faute, sous l'effet de certaines actions de l'homme, allons-nous enfin comprendre? mesurer le problème? et surtout agir?

S'agit-il de phénomènes passagers ou du commencement de la disparition des forêts avec tout ce que cela implique? Notamment pour nous.

Les rédacteurs de Naturopa vont essayer de faire la lumière sur cet événement à travers une série d'articles qui, peut-être, nous permettront d'évaluer l'ampleur du désastre.

Le numéro de printemps de Naturopa portera sur le sujet controversé de la chasse et montrera les efforts conscients de vrais sportifs pour améliorer leur image et notre environnement.

H.H.H.

(Photo G. Lacoumette)

Editorial

Depuis plus de trente ans déjà l'homme est conscient des atteintes que son activité porte à la nature. En 1976, Rachel Carson lance alors le cri d'alarme dans son ouvrage intitulé «Der stumme Frühling».

Avec beaucoup d'optimisme mais avec des moyens modestes et une stratégie peu cohérente, l'homme s'est alors attaqué aux menaces qui lui parurent les plus graves, telles la pollution des rivières et les pesticides les plus nocifs. Mais, à mesure qu'il détourne un péril, de nouvelles dégradations se font jour et mettent en danger notre environnement.

Depuis peu de temps, quelques mots traduits et constamment répétés dans toutes les langues ont alerté l'opinion publique: pluies acides, saurer Regen, Waldsterben, mort de la forêt.

De nouvelles dégradations

La forêt en Europe est devenue le symbole de la nature et une espérance de vie des générations futures.

Longtemps, cette forêt qui couvrait jadis l'Europe entière, fut considérée comme une ennemie et repoussée sur les sols les plus pauvres et les plus inaccessibles. Ce ne fut que vers le XVII^e siècle que les pays se rendirent compte de l'état souvent désastreux de leurs ressources forestières. L'ordonnance de Colbert, le règlement général des Archiducs Albert et Isabelle virent le jour. Peu à peu les bases d'une gestion forestière furent jetées pour assurer la pérennité des forêts.

Depuis, la sylviculture a cherché à maintenir des peuplements forestiers sains et stables en écartant les multiples agressions à la forêt: maladies dues aux insectes, aux champignons, aux agents climatiques ou à l'action de l'homme.

Toutefois ce catalogue s'avère aujourd'hui insuffisant pour expliquer la dégradation des forêts au cours des dernières années. Les signes précurseurs ont été la mort de la faune dans les eaux scandinaves, celle

des sapins et des épicéas dans les forêts de Bavière. Dans pratiquement toutes les régions boisées d'Europe, les forestiers observent avec inquiétude une progression accélérée des attaques d'insectes ou des maladies cryptogamiques affaiblissant les futaies feuillues ou résineuses.

La propagation des maladies et le mauvais état général de la forêt trouvent leur raison dans une cause plus grave, la pollution atmosphérique qui tel un cancer ronge un arbre après l'autre. Après les monts de Bavière, les «pluies acides» touchent la Forêt Noire, les Ardennes, les Vosges, le Jura.

Il s'agit de phénomènes complexes où interviennent de nombreux éléments, tels la composition minérale des sols et les conditions climatiques. Ainsi les températures extrêmes de l'été chaud et sec de 1976 et le coup de froid de janvier 1985 ont fortement marqué les systèmes complexes que sont nos forêts.

Le dépérissement des forêts doit être reconnu comme un signe précurseur alarmant de la destruction de notre environnement. La forêt est victime de ses fonctions de régulation et de protection. Face à la menace qui pèse sur l'avenir de nos bois, nous prenons conscience de son importance en tant que producteur de matières premières indispensables.

Vers une mort lente

L'ampleur des dégâts actuels nous fait entrevoir une vision d'apocalypse où la mort de la forêt préfigure la fin de l'humanité. Mais en dépit des premiers cris d'alarme, nous fermons les yeux devant la gravité de la situation; nous préférons retourner aux soucis de chaque jour et abandonner la survie de la forêt et de la nature aux scientifiques et aux techniciens.

Nous risquons de payer cher la pratique d'une politique de l'autruche qui consiste à laisser à la science la responsabilité de sauver notre environnement naturel.

Nous devons répéter inlassablement à nos concitoyens que la sauvegarde de la forêt est l'œuvre de chacun, que nous sommes tous responsables de sa perte et que seul l'effort commun peut encore la sauver. C'est la raison pour laquelle je me félicite de la parution de ce numéro de Naturopa destiné à informer du grave problème de la pollution atmosphérique qui n'épargne aucun des pays d'Europe.

Robert Krieps

Ministre de l'Environnement
Grand-Duché du Luxembourg



Les inventaires forestiers se succèdent en République fédérale d'Allemagne, en France, en Belgique, au Luxembourg et confirment la progression de la dégradation des forêts. Les causes sont connues. Ce sont les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre et les photooxydants, qui détruisent la cuticule des feuilles et des aiguilles et les racines, et qui entravent l'assimilation chlorophyllienne et la nutrition des arbres.



(Photo S. Cordier)

Les effets

Guy Landmann

dictoires et déroutent le lecteur. L'article qui suit essaie de faire état des atteintes actuellement connues et d'exposer les principales hypothèses scientifiques. C'est plus particulièrement le problème du dépérissement forestier qui sera développé.

Historique

C'est le chimiste anglais Smith qui utilise pour la première fois le terme « pluies acides » en 1872. Il note que « l'air acide » des villes corrode les surfaces métalliques et que les précipitations acides portent atteinte aux plantes et aux matériaux.

Durant le siècle qui suivit, les pays industrialisés furent confrontés essentiellement aux problèmes de la pollution atmosphérique rapprochée : corrosion des matériaux, atteintes à la végétation et effets sur la santé humaine par l'intermédiaire de « smog » acide entraînant, lors d'épisodes de pollution aigüe, une mortalité brutale parmi les personnes souffrant d'une affection pulmonaire ou cardiaque. La construction de cheminées de plus en plus hautes a permis de réduire fortement ce dernier type de risque.

Quand, au cours des années 50 et 60, les scientifiques constatèrent l'acidification d'une proportion croissante de lacs et cours d'eau scandinaves et nord-américains, les « pluies acides » furent à nouveau invoquées. L'idée que l'acidification des lacs scandinaves provenait pour l'essentiel de substances acidifiantes originaires d'Europe centrale et de Grande-Bretagne a cependant été longue à s'imposer.

Au cours des années 80, des rapports de plus en plus nombreux et provenant de pays européens, font état d'un dépérisse-

ment forestier croissant, atteignant une ampleur inconnue jusqu'alors. Ces dégâts sont rapidement rapprochés des « pluies acides » puis de la pollution atmosphérique sous toutes ses formes. Le concept étroit de « pluies acides » a été élargi.

Principales manifestations des « pluies acides »

— Effets sur les écosystèmes aquatiques

En l'espace d'une quarantaine d'années, le pH de certains lacs scandinaves a baissé de une ou deux unités. Cette évolution est parallèle à l'augmentation des émissions soufrées durant la même période. Ces lacs, d'une transparence caractéristique, s'appauvrissent en plantes et en animaux aquatiques ; quelques espèces végétales dominent alors que les poissons disparaissent.

En Suède, sur un total de 85.000 lacs, ce sont environ 18.000 qui sont acidifiés dont 4.000 gravement. Sur le continent américain, ce sont les états du Nord-Est des Etats-Unis, l'Ontario et le Québec qui sont les plus sévèrement touchés. 4.600 lacs canadiens sont considérés comme morts et 12.000 autres sévèrement atteints.

Quelques états européens, tels l'Allemagne fédérale, la Suisse, l'Ecosse, l'Angleterre, signalent des problèmes d'acidification des eaux.

Globalement, les lacs reposant sur des sols granitiques, comme c'est le cas en Scandinavie, sont de loin les plus sensibles à l'acidification. Les pertes économiques (diminutions des populations de poissons,

etc.) sont considérables et la correction du pH par chaulage est coûteuse et ne peut s'envisager que pour des situations pas trop dégradées.

— Effets sur les matériaux

La pollution atmosphérique accélère la détérioration de la plupart des matériaux de construction (grès, calcaire, marbres, bétons, métaux,...). Parmi les dommages les plus souvent cités figurent ceux aux monuments historiques, qui entraînent de coûteuses restaurations voire des pertes irréversibles.

Ces dégâts sont particulièrement prononcés à proximité des sources de pollution.

— Effets sur la santé humaine

Les atteintes directes à la santé dues aux polluants de l'air ne sont pas à l'heure actuelle considérées comme spécialement importantes dans la plupart des pays industrialisés. Le problème semble limité à certaines agglomérations où une pollution forte (lors d'événements climatiques particuliers) peut mettre en danger les personnes souffrant de difficultés respiratoires. Dans l'ensemble, comme il a été signalé plus haut, ces risques ont fortement diminué. Quant à l'infiltration des métaux lourds dans les eaux potables, ces phénomènes sont géographiquement limités et peuvent être aisément contrôlés.

— Effets sur les cultures

Les estimations les plus récentes faites pour l'Europe tendent à montrer que les dommages sont vraisemblablement peu importants et plutôt limités à des régions très polluées. Une certaine acidification des sols situés sur substrats pauvres est possible, mais il est difficile de la distinguer de celle due aux pratiques culturales (engrais « acidifiants », exportation massive de calcium). Aux Etats-Unis, c'est davantage le rôle de l'ozone qui est discuté. Ce photoxydant est tenu responsable d'une baisse de productivité de l'ordre de 5 % dans certaines plaines de grandes cultures.

— Effets sur les écosystèmes forestiers

Contrairement aux plantes annuelles, les arbres accumulent les polluants pendant de longues années. De plus, les dépôts sont beaucoup plus importants en forêt qu'en espace ouvert car les arbres constituent un piège pour les polluants (interception des flux d'air au niveau de la couronne). En outre, les dépôts sont deux fois plus importants sous résineux que sous feuillus car ces derniers sont dépouillés en hiver.

Depuis quelques années, des informations de plus en plus nombreuses émanent de République Fédérale d'Allemagne, relatives à des atteintes croissantes des forêts. Ce dépérissement a rapidement été relié au phénomène des pluies acides. Ces infor-

Pluie acide et pollution atmosphérique

La pluie non polluée a un pH d'environ 5,7 selon l'échelle qui va de 1 à 14 (du plus acide au plus basique). C'est le pH d'une eau pure en équilibre avec le CO₂ de l'atmosphère. Le terme « pluie acide » désigne toute forme de précipitation (pluie, neige, givre...) contenant des acides forts issus de polluants de l'air. Les principaux polluants d'origine humaine sont le **dioxyde de soufre** (SO₂) et les **oxydes d'azote** (NO_x) produits par la combustion des énergies fossiles (pétrole, charbon).

Le pH des précipitations acides des régions industrielles est couramment de l'ordre de 4, voire moins. Les brouillards concentrent les polluants et peuvent atteindre des pH très bas, de l'ordre de 2.

Certains polluants peuvent être néfastes aux arbres sous forme gazeuse : il s'agit en particulier du dioxyde de soufre et des oxydes d'azote déjà cités ainsi que des **photoxydants**, tels l'**ozone** ou le nitrate de peroxyacetyl (PAN) formés grâce à l'interaction des radiations solaires et de certains hydrocarbures.

mations, reprises et souvent amplifiées par les médias sont à l'origine, dans l'opinion publique, de représentations apocalyptiques : forêts dévastées sur de grandes surfaces, montagnes dénudées,... Or, quand le novice passe dans des massifs comme la Forêt-Noire, il est surpris de ne pas trouver ce spectacle de désolation.

La nature, l'ampleur actuelle du dépérissement sont présentées ci-après. Le lien éventuel avec la pollution est discuté.

Le dépérissement forestier

— Définition et symptômes

Les arbres n'ont qu'un nombre limité de façons de manifester une modification de leur état de santé. Ceci vaut en particulier pour les symptômes visuels décrits actuellement et regroupés sous l'étiquette « dépérissement » : ils étaient pour la plupart connus depuis longtemps sur des arbres isolés. C'est dire que la seule observation ne permet pas d'identifier la cause du dépérissement : les symptômes ne sont pas (ou très peu) spécifiques.

La « nouveauté » du dépérissement actuel résiderait plutôt en (1) une extension géographique importante, (2) une durée prolongée de la baisse de vitalité, (3) une issue jusqu'ici incertaine (mort ou rétablissement des arbres), (4) une évolution rapide des dommages, (5) une apparition du phénomène sur des stations de fertilités variables, enfin (6) une atteinte sur un nombre élevé d'espèces.

Le Sapin présente une perte d'aiguilles s'opérant en général du bas du houppier vers le haut et de l'intérieur vers l'extérieur. La couronne devient peu à peu transparente et seule la cime reste vigoureuse.

Sur l'Epicéa on observe plusieurs types de dépérissements selon les régions ; perte uniforme d'aiguilles avec ou sans jaunissement préalable, perte d'aiguilles concen-

trée sous la cime (*sub-top dying*), jaunissement intense des aiguilles anciennes sur des individus de tous âges.

Chez le Pin sylvestre, la défoliation affecte l'ensemble de la couronne ou s'opère de l'intérieur vers l'extérieur.

Chez le Hêtre, le dépérissement progresse de la périphérie de la couronne vers l'intérieur. Il est en général précédé de modifications morphologiques et s'accompagne souvent d'un jaunissement foliaire précoce.

Le dépérissement s'étire en général sur plusieurs années. La mortalité reste le plus souvent limitée (des individus meurent de ci, de là) et conduit à un peuplement de plus en plus clair. Le novice ne détecte pas ce processus car les forestiers retirent les arbres morts et fortement dépérissants par mesure d'hygiène forestière (risque de pollution d'insectes).

— Extension des dégâts

Constatant des baisses de vitalité importantes sur le Sapin, les services forestiers allemands ont installé des placettes d'observation permanente dès 1978 et un réseau systématique de placettes en 1982. Une détérioration importante a été notée entre 1982 et 1984.

La plupart des pays européens ont mis en place sur tout ou partie de leur territoire des réseaux de surveillance. Les résultats sont difficiles à comparer (malgré une harmonisation des méthodes) et il n'est pas possible, faute de recul, de retracer la progression de la « maladie » en Europe. Souvent d'ailleurs, il faut attendre l'installation des réseaux pour que l'on prenne conscience des premiers dégâts...

En outre, le terme « dégât » lui-même est à considérer avec prudence car les arbres occupent naturellement une certaine gamme de vitalité. Le problème réside en l'identification d'une évolution anormale de la santé de la forêt.

En tenant compte de ces restrictions, on peut résumer la situation ainsi :

— les dégâts les plus graves sont localisés en Tchécoslovaquie, Pologne, République Démocratique Allemande : plusieurs centaines de milliers d'hectares sont dévastés, en particulier dans les monts métallifères.

La pollution importante résultant de la combustion de lignite très riche en soufre semble clairement responsable de cette situation, les extrêmes climatiques provoquant l'effondrement d'un écosystème très fragilisé.

— des dommages importants, quoique diffus et se traduisant jusqu'ici par une faible mortalité, sont observés dans les massifs montagneux allemands (Forêt-Noire, Bavière), dans le Nord-Est de la France (Vosges, Jura), en Suisse, en Autriche. Des dégâts en moyenne moins élevés sont notés dans les régions ou pays entourant la zone ainsi délimitée.

L'origine de ce dépérissement n'est pas aisément identifiable.

— des dommages peu importants sont enregistrés en Grande-Bretagne et dans les pays scandinaves. Ils sont jusqu'ici interprétés essentiellement comme une image de la gamme naturelle de vitalité mentionnée plus haut.

— des mortalités d'ampleur variable et quelquefois très importantes sont observées sur les résineux dans le Nord-Est des Etats-Unis en zone de montagne. L'absence d'observations précises ne permet pas de caractériser l'évolution de la situation.

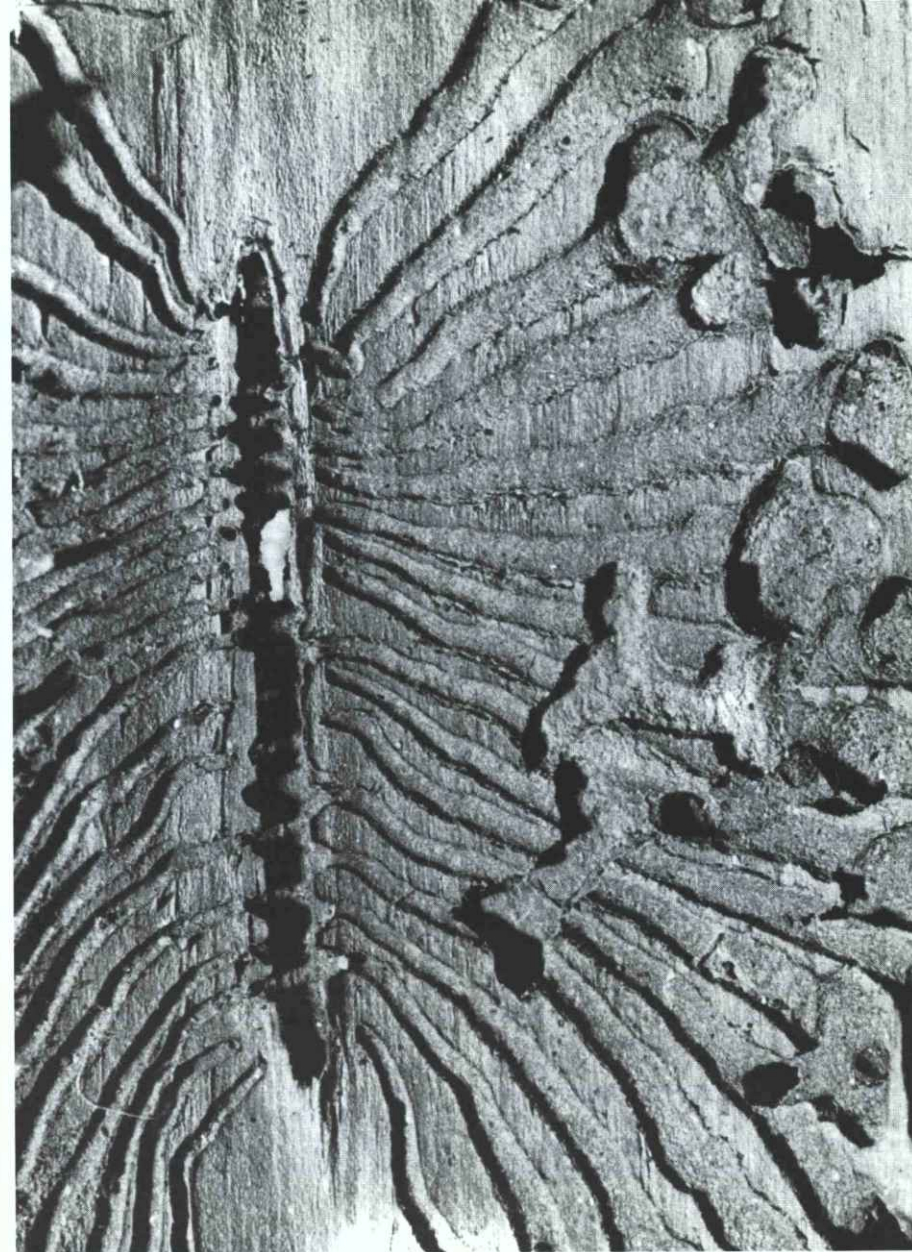
Les scientifiques américains ne se prononcent pas formellement sur l'intervention des « pluies acides » dans le déclin forestier qui pourrait être dû à des causes naturelles.

— Causes et mécanismes du dépérissement forestier

La méconnaissance de la physiologie des arbres forestiers, la difficulté d'expérimenter sur des végétaux à forte longévité (et donc de démontrer les mécanismes) sont pour partie à l'origine des incertitudes qui subsistent actuellement, alors que des efforts de recherche importants ont été engagés dans plusieurs pays.

Les principales hypothèses formulées et les quelques résultats provisoires des recherches sont exposés ci-après (voir tableau). Nous retiendrons ici quelques éléments majeurs.

Si les insectes et les champignons peuvent être écartés sans ambiguïté comme cause primaire du dépérissement, des analyses approfondies doivent clarifier le rôle possible de microorganismes tels les



Les dégâts du bostryche (Photo G. Lacoumette)

virus dont la présence sur les arbres dépérissants semble fréquente. L'expression de la « maladie » (répartition et évolution des dommages) s'accorde pourtant difficilement avec l'existence d'un agent causal de ce type.

L'influence du climat est difficile à appréhender. Les arbres intègrent et cumulent les stress, la manifestation de la difficulté physiologique peut se déclarer avec un temps de latence important dans certains cas (quelques années). L'« histoire » des arbres, reconstituée par l'examen des cerneaux annuels atteste les répercussions majeures du climat sur la vitalité et la croissance des forêts. Les études de ce type (peu nombreuses) confirment que la décennie passée a été particulièrement sèche mais divergent dans leurs conclusions sur l'essentiel, à savoir si le dépérissement actuel est moins bien explicable par le climat que des crises anciennes (plusieurs crises graves sont connues comme sur le Sapin depuis au moins deux siècles).

La répartition altitudinale des dégâts (prononcés à altitude élevée où les conditions du milieu seraient relativement plus favorables qu'à basse altitude) et l'existence du dépérissement sur de bons sols sont des éléments souvent avancés pour réfuter le rôle dominant du climat.

La **pauvreté minérale** de beaucoup de sols montagnards constitue sans aucun doute un facteur de prédisposition à l'expression de la « maladie ». La gravité des dégâts semble cependant peu corrélée avec la fertilité du sol bien que les dégâts les plus graves soient souvent notés sur des substrats très pauvres. La baisse importante des teneurs en certains éléments minéraux dans les aiguilles (magnésium en particulier) en l'espace de 10 ou 20 ans, attestée dans plusieurs massifs montagneux) n'a pas trouvé d'explication satisfaisante.

Les « pluies acides » peuvent avoir dans certaines conditions, et temporairement au moins, un rôle positif (fertilisation par les nitrates) mais à terme, et dans la plupart des situations, les conséquences d'une malnutrition (déséquilibre entre éléments minéraux) et d'autres effets négatifs de la pollution (voir ci-après) risquent fort de prévaloir.

La **pollution transfrontière à grande distance** constitue le seul facteur nouveau à l'échelle du demi-siècle parmi les causes possibles du dépérissement. Elle peut en outre avoir des conséquences à grande échelle. C'est pourquoi elle est devenue une cause plausible du dépérissement. Des éléments objectifs rendent l'implication de la pollution probable :

— les « pluies acides » apportent des quantités de protons (H⁺) souvent importantes et conduisent à des baisses de pH du sol perceptibles dans certaines régions (0,4 unité en 12 à 16 ans en Forêt-Noire sur grès). On peut alors craindre un lessivage d'éléments minéraux voire la libération d'éléments toxiques (aluminium). D'autre part, les précipitations peuvent atteindre des pH très bas, en particulier sous forme de brouillards, et sont alors capables de porter une atteinte directe à la cuticule des feuilles. L'importance régionale très variable des retombées acides concordent cependant assez mal avec la répartition des dégâts. D'autres facteurs interviennent donc ;

— les polluants gazeux (SO₂, NO_x, O₃...) sont néfastes pour les végétaux au-delà de certaines concentrations. Dans les zones rurales ou montagneuses où des dégâts sont signalés, les valeurs moyennes de SO₂ ou NO_x sont généralement inférieures aux concentrations jugées dangereuses mais certains pics de concentrations peuvent être impliqués dans le déroulement du dépérissement. De plus, la synergie entre divers polluants est très probable et démontrée dans certains cas : l'effet fertilisant de NO₂ est largement annulé par l'addition de SO₂. Une attention particulière est actuellement accordée à l'ozone et aux autres polluants photochimiques dont les concen-

trations en montagne dépassent assez souvent les seuils de sensibilité couramment admis. L'ozone pourrait entraîner des lésions au niveau de la feuille permettant le lessivage des éléments minéraux. Ce mécanisme n'est toutefois pas strictement établi. Les photooxydants sont enfin les seuls polluants qui présentent une tendance à l'augmentation au cours des quinze dernières années.

L'observation d'atteintes particulièrement fortes dans des peuplements entrouverts, situés sur des pentes fortes et généralement dans des zones ventées, s'accorde bien avec les conséquences d'une interception importante de polluants par les arbres.

Résumé et conclusions

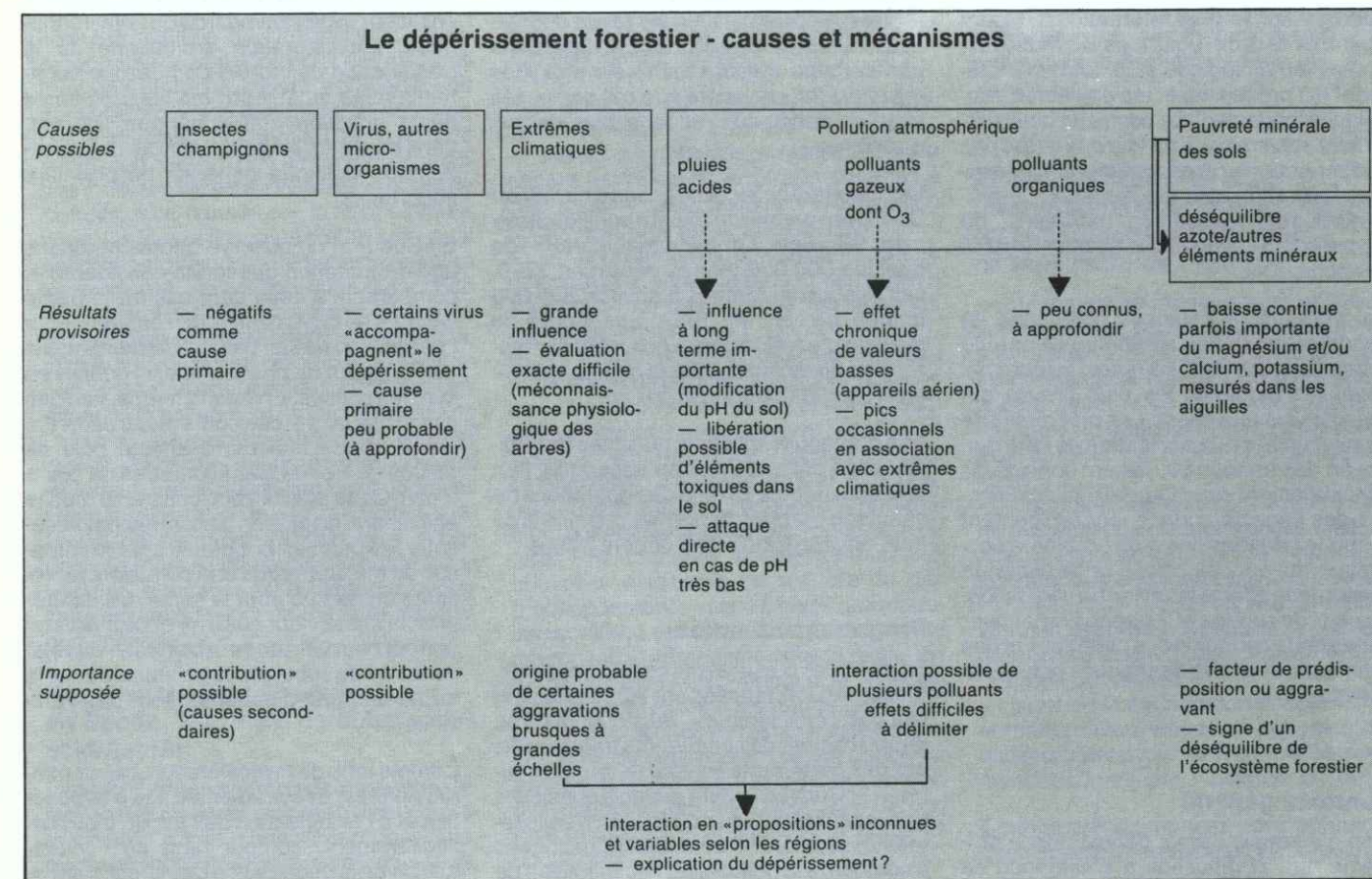
Les pluies acides et plus généralement la pollution atmosphérique ont potentiellement des effets importants sur la santé humaine, les matériaux, les écosystèmes aquatiques, agricoles et forestiers.

Les conséquences clairement établies sur les matériaux et les écosystèmes aquatiques, se soldant par des pertes économiques importantes, suffisent à justifier la réduction de certaines formes de pollution, en particulier la pollution soufrée.

Le dépérissement forestier tient une place à part dans ce contexte. Les extrêmes climatiques et la pollution atmosphérique sont probablement les deux facteurs principaux du dépérissement. Les rôles respectifs sont difficiles à cerner et probablement variables d'une région à l'autre.

L'effort de recherche entrepris doit être poursuivi pour clarifier les mécanismes du dépérissement et évaluer les implications possibles de la pollution.

Si les éléments objectifs dont nous disposons actuellement ne permettent pas de prévoir avec certitude une évolution dramatique de la situation, ils ne permettent pas non plus d'écarter un risque majeur. En raison du nombre élevé de facteurs impliqués, l'expression apparemment « confuse » du dépérissement n'est guère étonnante ; il est même probable qu'une description précise des relations de cause à effet ne pourra jamais être obtenue. Or la lutte contre la pollution n'est en général entreprise que si les effets sont dûment prouvés. On comprend donc la difficulté de fonder une politique de réduction de la pollution atmosphérique sur la compréhension actuelle du dépérissement forestier. ■



Programme de lutte

Ministère suédois de l'Agriculture



Acidification des lacs et des cours d'eau — quels risques pour la vie sauvage ? (Photo H. Östborn)

Les activités dans le domaine de l'environnement, tant sur le plan national que sur le plan international, visent à garantir le droit, pour tous les individus, à un milieu biologique sain, tout en protégeant les processus et les équilibres écologiques fondamentaux contre un bouleversement irréversible. Il ne faut pas que le prix à payer pour un développement économique favorable soit l'exploitation imprévoyante des ressources naturelles, ou l'apparition de risques graves pour la santé des personnes.

Les rejets de substances polluantes, et l'acidification qui en résulte au niveau de notre environnement, comptent aujourd'hui parmi les menaces les plus graves qui pèsent sur la biosphère. Les problèmes de la pollution et de l'acidification de l'air, qui, à la fin des années 60, étaient considérés principalement sous l'angle de l'acidification des eaux de surface, ont rapidement acquis les dimensions d'un problème écologique majeur, de portée universelle; le phénomène affecte les sols et la végétation, les eaux de surface et la nappe phréatique; il entraîne la corrosion des matériaux et des bâtiments, ainsi que des risques pour la vie humaine.

Contexte général

L'on n'a jamais cessé, depuis que le problème de l'acidification a commencé de

causer de l'inquiétude, de prendre, année après année, d'importantes mesures pour réduire, en premier lieu, les rejets domestiques d'anhydride sulfureux, et aussi dans une certaine mesure les rejets d'oxydes d'azote. L'on considère que ces composés sont les principaux responsables de ces problèmes.

Les mesures collectives prises à ce jour en Suède ont permis de réduire considérablement les rejets d'anhydride sulfureux; de quelque 900.000 tonnes par an en 1970, ces rejets sont tombés à environ 300.000 tonnes par an en 1983. Les rejets de dioxyde d'azote, quant à eux, sont demeurés plus ou moins constants depuis 1970 — environ 300.000 tonnes par an.

Afin d'atténuer les effets nuisibles de l'acidification dans le système aquatique, l'on procède, depuis 1976, à des opérations de chaulage dans les lacs et les canaux. A ce jour, environ 3.500 lacs ont été traités.

Programme d'action

En dépit des mesures qui ont été adoptées, mesures caractérisées par leur ampleur et leur coût considérable — dû, notamment au remplacement des carburants traditionnels par des carburants à faible teneur en soufre — le Gouvernement suédois considère que la réalisation de nouveaux investissements, sous forme de mesures destinées à combattre la pollution et l'acidification de

l'air, est la tâche prioritaire qui s'inscrit dans le cadre des efforts permanents déployés en faveur de la sauvegarde de l'environnement. L'accélération dramatique de la dégradation des forêts de l'Europe continentale fait qu'aujourd'hui les problèmes de la pollution atmosphérique figurent, dans plusieurs pays, au nombre des questions de politique générale de première importance.

En Suède, l'on observe depuis deux ans une dégradation des forêts considérable, comparable à celle dont souffre la partie centrale de notre continent. Toutefois, pour l'heure, l'on ne sait pas exactement quelle est l'ampleur du phénomène, ni quelles en sont les causes. En même temps, l'acidification des lacs et des cours d'eau demeure un problème majeur; il affecte plus de 18.000 lacs et 90.000 kilomètres de cours d'eau. Cette acidification constante touche également, de plus en plus, la nappe phréatique; ce processus, cumulé avec la libération de métaux lourds et la corrosion, représente un danger pour la santé. Ce danger pour la santé vient aussi — et cela est vrai surtout pour les zones urbaines — du rejet dans l'air de substances polluantes sous la forme des gaz d'échappement des véhicules.

Compte tenu de la prolifération, ces dernières années, des problèmes liés à la pollution et à l'acidification de l'air, et, plus particulièrement, compte tenu de l'accroissement de la dégradation des forêts, il appa-

raît nécessaire de déterminer, pour les années à venir, un programme d'action concertée pour faire face aux questions liées à la pollution et à l'acidification. Un tel programme devrait comporter des mesures tendant à mettre en œuvre, en Suède, une nouvelle réduction des rejets de substances acidifiantes, notamment les oxydes de soufre et d'azote; il devrait comporter aussi des mesures visant à atténuer les effets de l'acidification dans le sol, la nappe phréatique, les lacs et les cours d'eau, ainsi qu'à encourager la poursuite d'efforts, au plan international, pour obtenir une diminution des rejets. Il faudrait également prévoir une surveillance et une recherche-évaluation, afin de pouvoir suivre l'évolution de la situation et de parvenir à mieux connaître les effets de la pollution et de l'acidification de l'air et les facteurs susceptibles d'expliquer ces effets. Enfin, le programme devrait inclure un travail d'exploration et un travail technique de mise au point — le genre de travail, par exemple, indispensable si l'on veut procéder à l'évaluation continue de la situation, évaluation qui sera rendue nécessaire par les développements des prochaines années.

Mesures tendant à réduire, en Suède, les rejets de substances acidifiantes

L'objectif, qu'on s'efforcera d'atteindre au moyen des mesures proposées dans le programme d'action, consiste à réduire, respectivement de 65 % et de 30 %, d'ici 1995,

les rejets d'anhydride sulfureux et d'oxyde d'azote, par rapport aux quantités rejetées en 1980. Les rejets seraient alors, en 1995, d'environ 200.000 tonnes de SO₂ et 200.000 tonnes de NO.

Pour atteindre ces objectifs, nous proposons les mesures suivantes:

- il faut rechercher les moyens de réduire encore les rejets de soufre imputables à l'industrie — l'objectif étant une diminution de 50 % sur les dix années à venir;
- on doit étudier la possibilité d'obtenir une nouvelle réduction de la teneur en soufre des carburants liquides, qu'ils soient lourds ou légers;
- il y a lieu d'instituer, dès que cela sera praticable, des normes plus rigoureuses en ce qui concerne les gaz d'échappement des véhicules, correspondant à celles en vigueur en Amérique (convertisseurs catalytiques). Il faudrait donner aux constructeurs et aux importateurs d'automobiles la possibilité de faire homologuer les voitures de tourisme conformément aux nouvelles exigences en matière de gaz d'échappement — et ce à partir des modèles de 1989. Les mesures dans ce domaine devront être harmonisées avec l'évolution de la situation en République fédérale d'Allemagne et dans les autres pays, qui, à l'initiative du Gouvernement suédois, ont entrepris de coopérer en ce qui concerne la réglementation des gaz d'échappement; cela suppose que cette coopération ait des prolongements et aboutisse aux résultats souhaités;

— de l'essence sans plomb sera commercialisée sur le marché suédois, afin, notamment, de permettre l'application de normes plus strictes en matière de gaz d'échappement. En principe, cette essence devrait être disponible, dans un réseau de stations service couvrant l'ensemble du pays, avant l'été 1986. Au 1^{er} juillet 1987, l'on devrait pouvoir se procurer de l'essence sans plomb dans toutes les stations service de Suède, à l'exception de celles qui ne possèdent qu'une seule pompe;

— on continuera d'étudier la mise au point de dispositifs permettant un filtrage plus efficace des gaz d'échappement pour les poids lourds, les camionnettes, les autobus et les autocars;

— on étudie actuellement, dans le cadre des plans de circulation, la possibilité de réduire encore les quantités de gaz rejetées par les voitures. Il est prévu de rédiger des directives applicables à la qualité de l'air;

— il est prévu l'élaboration d'un programme de mise au point de solutions «douces» pour la propulsion des véhicules;

— un programme d'action concret, tendant à réduire les rejets d'oxyde d'azote provenant d'installations de combustion, est en cours d'élaboration. L'on est en train de mettre en place des mécanismes permettant de financer des mesures tendant à réduire les rejets d'oxyde d'azote;

— il est prévu de limiter les rejets d'acide chlorhydrique et d'autres substances acidifiantes. L'on étudiera le rôle du processus d'acidification sur le comportement des substances chimiques dans l'environnement;

— on a entrepris un programme tendant à limiter les rejets de substances acidifiantes provenant de déchets miniers.

Efforts entrepris au plan international pour réduire les rejets de substances acidifiantes dans le reste de l'Europe

— négociations menées sans relâche en vue de réaliser, dans le cadre de la Convention relative à la pollution atmosphérique transfrontalière sur grande distance, un accord ayant force obligatoire, tendant à réduire d'au moins 30 % les rejets de soufre d'ici 1993, par rapport à leur niveau de 1980;

— poursuite des initiatives tendant à opérer des nouvelles réductions des rejets sulfureux, allant au-delà des 30 % qui correspondent aux engagements pris à ce jour;

— efforts énergiques en vue de promouvoir des accords concernant la réduction des rejets d'oxyde d'azote, également dans l'Europe continentale;

— suivi de la coopération concernant les normes communes pour la réglementation des gaz d'échappement, dont le Gouvernement suédois a pris l'initiative en 1984.

Comme précédemment, nous présumons que l'activité internationale se déroulera en



Opération de chaulage (Photo H. Östbom)

étroite coopération avec les autres pays nordiques et comportera un processus continu de délibérations bilatérales avec divers pays.

Mesures adoptées, en sylviculture et en agriculture, afin de réduire ou d'enrayer l'acidification des sols

- volonté de limiter la fertilisation des terres forestières, ainsi que l'emploi d'engrais acidifiants, conformément aux principes directeurs qui ont été publiés;
- élaboration de recommandations concernant l'utilisation d'arbres entiers, prenant en considération le risque d'un accroissement de l'acidité du sol si l'on utilise la biomasse dans sa totalité;
- poursuite du travail de recherche et d'étude portant sur les conséquences, du point de vue de l'acidification, de l'introduction dans les forêts suédoises d'un plus grand nombre d'arbres à feuilles caduques, essentiellement des bouleaux;
- information, conseils et éducation concernant les mesures de sauvegarde de la forêt qui peuvent contribuer à accroître la résistance de celle-ci aux polluants;
- étude des conséquences de l'utilisation croissante d'engrais non acidifiants en agriculture;
- efforts accrus en matière d'information et de conseils concernant le chaulage des terres agricoles et le perfectionnement de la fertilisation des sols; également, actions spéciales en faveur d'une meilleure analyse des sols;
- révision des directives en vigueur dans le domaine de la protection de l'environne-

ment, notamment dans le sens d'une limitation de l'évaporation de l'ammoniac des engrais.

Chaulage et autres mesures tendant à enrayer et réduire les effets de l'acidification

Il ressort des opérations de chaulage déjà effectuées que le chaulage des lacs, canaux et bassins d'alimentation permet de réduire ou d'atténuer les effets nuisibles de l'acidification dans les systèmes aquatiques. Toutefois, étant donné que les problèmes d'acidification ne peuvent être éliminés par le chauffage, et qu'il est difficile, au demeurant, de traiter efficacement des lacs et cours d'eau si nombreux, le chaulage doit toujours être considéré comme une intervention provisoire, en attendant que soient prises des mesures capables de réduire sensiblement les rejets des substances incriminées. Ainsi, le chaulage ne pourra jamais être considéré comme une solution définitive aux problèmes d'acidification. Il n'empêche que des interventions devront se poursuivre aussi longtemps que la situation restera critique.

Le programme comprend:

- un accroissement de l'aide financière consentie par l'Etat pour le chaulage des lacs et des cours d'eau (1985-86: 90 millions de couronnes suédoises, soit environ 10 millions de dollars);
- l'étude de la possibilité de réduire la teneur en mercure des poissons, au moyen de chaulage ou d'autres mesures environnementales;

- la poursuite d'activités expérimentales à base de chaulage, et l'adoption d'autres mesures tendant à enrayer l'acidification des forêts et de la nappe phréatique;
- l'octroi de subventions étatiques spéciales au titre du chaulage, et l'adoption d'autres mesures tendant à combattre l'acidification de la nappe phréatique.

Activités de recherche et développement, surveillance et évaluation

- coordination des recherches entreprises sur l'acidification avec le concours financier, et sous la direction, de divers organismes; volonté de donner la priorité, à l'intérieur de la recherche environnementale générale, à cette recherche spécifique.
- subventions spéciales au titre des activités de recherche et de surveillance concernant les dommages subis par les forêts et l'acidification de la nappe phréatique.
- extension des programmes de surveillance existants ayant trait aux problèmes de la pollution et de l'acidification de l'air. Elaboration de programmes visant à observer les effets de l'acidification sur la santé.
- mise au point et mise à l'épreuve de méthodes de chaulage améliorées. ■

Un combat transfrontalier

Louis Jung

Des solutions à l'échelle européenne

Il est évident que l'Assemblée parlementaire en a été saisie pour en discuter et proposer des solutions à l'échelle européenne. Dans un rapport auquel ont contribué un grand nombre de commissions et soumis à l'Assemblée parlementaire en janvier 1984, ainsi que dans la discussion qui s'en suivait, tous les orateurs ont souligné la gravité du problème qui touche autant le patrimoine écologique que le patrimoine culturel, mais aussi la santé humaine. Les dommages matériels dans tous ces domaines sont déjà considérables, mais le danger qui pèse sur l'humanité entière dû à l'impact des pluies acides est beaucoup plus grave. Il est essentiel que des mesures soient prises aux niveaux national et international basées sur les principes de la prévention, de la responsabilité financière du pollueur, ainsi que de la coopération entre toutes les parties concernées, industries, consommateurs, pouvoirs locaux et régionaux, instituts de recherche et gouvernements. C'est pourquoi l'Assemblée par-

lementaire, sans ignorer la Convention sur la pollution atmosphérique frontalière à longue distance élaborée dans le cadre des Nations Unies, a insisté sur le rôle pionnier du Conseil de l'Europe dans le domaine de la lutte contre la pollution de l'air. Elle a recommandé au Comité des Ministres d'élaborer une convention européenne et de prendre des mesures pour réduire les émissions d'anhydride sulfureux et d'oxyde d'azote. Cet appel a été renouvelé au début de 1985 et le Comité des Ministres a depuis confirmé que le Conseil de l'Europe avait un rôle constructif à jouer en la matière. Depuis une nouvelle activité intergouvernementale relative aux répercussions de la pollution atmosphérique sur les forêts et d'autres écosystèmes a été entamée.

Les pluies acides doivent nous rappeler que les générations futures nous jugeront sur l'état dans lequel nous leur avons légué notre environnement. Le monde industriel se doit de réduire le niveau de pression qu'il fait subir à l'atmosphère afin que celle-ci ne perde pas son rôle essentiel de soutien non seulement de la vie humaine mais de l'environnement naturel dans son ensemble. ■

La forêt fait face aujourd'hui à une menace qui fut inconnue il y a quelques années encore et dont les conséquences entières ne sont pas encore prévisibles dans leur ensemble. Néanmoins la mort de la forêt a atteint des grandes parties de notre patrimoine forestier en Europe et continue en s'aggravant. Il faut craindre des dommages irréversibles dans les domaines économique et écologique si le processus ne peut être arrêté. Selon nos connaissances, la pollution atmosphérique et en particulier les pluies acides sont les principaux responsables. Qu'il s'agit d'endiguer à tout prix.

En général, on appelle pluies acides l'aboutissement d'un processus chimique qui n'est pas encore tout à fait éclairci. On pense que l'anhydride sulfureux et les oxydes d'azote émis dans l'atmosphère par les centrales électriques, les chaudières industrielles, les fonderies et les moteurs à explosion sont notamment à l'origine des pluies acides. Les métaux lourds libérés en même temps, contribuent à aggraver la situation. Sous l'effet de la lumière solaire, une partie de ces polluants réagit à l'air humide pour former des solutions d'acide nitrique et sulfurique avant de retomber sur la terre sous la forme de précipitations acides en temps de pluie. En Europe, les principales sources de pluies acides sont les vastes centres industriels qui émettent quelques 55 millions de tonnes d'oxyde de soufre et 37 millions de tonnes d'oxyde d'azote par an. Mais la pollution ne se limite pas aux zones industrialisées. Souvent elle est transportée à haute altitude dans d'autres régions et pays. Il ne s'agit donc pas d'un problème limité à un ou plusieurs Etats, mais d'une sérieuse atteinte à l'environnement de tous les Etats membres du Conseil de l'Europe.



Capteur installé au Conseil de l'Europe permettant de mesurer la teneur en SO₂ de l'air relié à l'ordinateur de l'Association pour la surveillance de la pollution atmosphérique (ASPA)

(Photo G. Teton)

«Waldsterben»

Erwin Lauterwasser

Lorsque les services d'inspection des eaux et forêts de Bade-Wurtemberg ont constaté, aux environs de 1965, qu'en plusieurs endroits de la Forêt-Noire des peuplements de sapins accusaient un état de santé de plus en plus mauvais, ni l'administration des eaux et forêts, ni les chercheurs spécialisés en science forestière n'ont cru devoir prendre des initiatives autres que des vérifications de routine. Des rapports sur les dégâts assez importants subis périodiquement par les sapins et même sur leur mort, dans certains secteurs, avaient déjà paru dans des publications spécialisées. Toutefois, c'est seulement après 1970, lorsque les avertissements se sont multipliés, que l'on s'est occupé plus systématiquement des peuplements de sapins endommagés dont l'état s'était sensiblement aggravé depuis la sécheresse des années 1971-1972 et surtout 1976. Dans un premier temps on a estimé que la faiblesse des précipitations au cours de ces périodes offrait une explication plausible et l'on a éliminé tous les autres facteurs susceptibles de jouer un rôle, tels que le milieu et la sylviculture.

Genèse

En 1978, l'accentuation de la maladie du sapin a incité la station expérimentale de l'administration des eaux et forêts de Bade-Wurtemberg à créer des aires d'observation permanente. Dans des zones boisées atteintes par la maladie à des degrés divers, on a délimité et marqué des emplacements de 0,25 ha où l'on a numéroté les arbres. Au printemps et à l'automne de chaque année, des spécialistes examinent les arbres un à un afin de déceler les symptômes pathologiques liés à la perte des aiguilles. Une diminution constante de la vitalité du sapin a été constatée. Lors de réunions professionnelles on s'est interrogé sur la question de savoir s'il fallait considérer le sapin comme une espèce condamnée. On croyait encore, néanmoins, que la mort des sapins constituait un phénomène limité dans le temps et l'espace et que des périodes de rétablissement faisaient suite aux manifestations de la maladie dont la cause paraissait devoir être attribuée à l'effet combiné d'un ensemble de facteurs provoquant une diminution de la vitalité.

Au cours des années suivantes aucune amélioration ne s'est produite, malgré des périodes très pluvieuses et l'idée d'orienter les recherches vers d'autres facteurs susceptibles de déclencher la maladie a gagné du terrain. Le rôle joué par les substances toxiques contenues dans l'air a particulièrement retenu l'attention.

A partir de l'automne 1981 l'évolution a pris des proportions dramatiques lorsque l'épicéa s'est brusquement mis à dépérir à son tour sur d'importantes surfaces et que l'on a observé les mêmes symptômes sur d'autres arbres, y compris des feuillus.

Les symptômes

Etant donné l'extension prise par la maladie des forêts on a estimé qu'il n'était plus possible de limiter les recherches aux seules aires d'observation et qu'il fallait les étendre à l'ensemble du domaine forestier. Un inventaire général des dégâts subis semblait devoir s'imposer, mais la détermination du signe distinctif permettant de se prononcer sur l'état de santé des arbres n'était pas facile. De nombreux éléments peuvent intervenir. En l'absence de critères objectifs de mesure on a estimé que l'évaluation de la perte en aiguilles ou en feuilles pouvait constituer un premier élément d'appréciation. On a constaté qu'au fur et à mesure des progrès de la maladie toute la région de la cime jaunissait, d'où l'adoption de ce critère pour les nouveaux inventaires. La maladie est également reconnaissable à d'autres symptômes, tels

que, par exemple, le vide qui se crée au niveau de la cime, en dessous de la pointe qui reste relativement saine chez l'épicéa et le sapin. Chez les vieux épicéas on constate un affaissement croissant des branches du deuxième rang (effet de lamelles). Les branches saines dépérissent, la pousse annuelle de la pointe est raccourcie, des rejets annexes apparaissent. Comme effets secondaires on observe le développement de types d'épicéas qui ont besoin de beaucoup de lumière et qui résistent aux fumées industrielles tels que *Hypogymnia physodes*. Chez les feuillus les symptômes sont analogues: feuilles clairsemées, branches mortes en nombre croissant, diminution des ramifications et jaunissement, rapetissement des feuilles.

Dans l'intervalle un groupe de travail a été chargé par la Commission des Communautés Européennes (Division Forêts et Sylviculture) de mener, pour les principales espèces d'arbres, une enquête fondée sur les pourcentages de pertes en aiguilles et en feuilles et sur le jaunissement. D'autres symptômes peuvent être pris en considération.

On distingue 4 stades dans les dégâts;

Tableau 1

Stade des dégâts	Perte en aiguilles et en feuilles en %	Degré de vitalité
0	0-10	sain
1	11-25	légèrement atteint
2	26-60	moyennement atteint
3	61-99	gravement atteint
4	100	mort

Tableau 2

Stade des dégâts uniquement en fonction des pertes en aiguilles et en feuilles	Stade des dégâts en fonction des pertes en aiguilles et en feuilles et de leur jaunissement		
	Degré de jaunissement (% des aiguilles/feuilles jaunies)		
	0-25 %	26-60 %	61-100 %
0	0	1	2
1	1	2	2
2	2	3	3
3	3	3	3



Epicéa sain



Stade 1



Stade 2



Stade 3



L'avenir?

(Photos E. L.)

L'évolution depuis 1983

En 1983 il a été procédé en République fédérale d'Allemagne à une estimation d'ensemble des dégâts subis par les forêts. En Bade-Wurtemberg et en Bavière on a procédé, de surcroît, à une vérification par échantillonnage représentatif. Il ressort de ces enquêtes que sur les 7,4 millions d'hectares de la forêt de la République fédérale, 2,55 millions d'hectares, soit 34 % sont malades. Le pourcentage le plus élevé de superficies atteintes a été observé en Bade-Wurtemberg (49,5 %) et en Bavière (45,9 %).

Dans certains Länder l'inventaire au sol a été complété et corroboré par des photographies aériennes faites à la lumière artificielle. En 1984 tous les Länder ont mis en œuvre le système de vérification par échantillonnage représentatif. De ce fait, les résultats sont objectivement comparables dans l'ensemble de la République fédérale. Les superficies endommagées avaient augmenté et représentaient 50 % des forêts. Les Länder les plus atteints étaient à nouveau le Bade-Wurtemberg (66 %) et la Bavière (57 %)!

L'inventaire dressé en 1985 est maintenant terminé; on peut se rendre compte de l'évolution de la maladie d'après les résultats observés pour le Land de Bade-Wurtemberg.

La comparaison des chiffres met en relief une forte poussée en 1983-84, puis un ralentissement du processus de dépérissement parvenu à un niveau élevé. Le pourcentage des superficies saines est resté le même, mais des modifications préoccupantes se sont produites en ce qui concerne l'échelle des dégâts dans les zones atteintes. Pour les stades 2 à 4, les pourcentages sont passés de 23,9 % à 27 %. Les superficies sérieusement atteintes atteignent à présent 350.000 ha.

La maladie n'épargne aucune espèce d'arbres, quel que soit leur âge. Ce sont les vieux sapins qui sont les plus atteints, puis viennent l'épicéa et les autres conifères. L'état des feuillus a continué de s'aggraver, notamment celui du chêne.

Il ressort des observations faites que l'évolution de la maladie varie considérablement d'une zone boisée à l'autre. C'est surtout aux basses altitudes que l'on constate une stabilisation et une amélioration. De nettes aggravations se sont manifestées, en revanche, aux altitudes plus élevées (à partir de 700 m) et dans les zones exposées. L'accentuation du jaunissement y est particulièrement marquée. Les observations plus récentes ont confirmé l'existence d'autres manifestations. C'est ainsi que les peuplements mixtes ont tendance à être davantage atteints que ceux qui ne comportent qu'une seule espèce d'arbre. L'extrémité supérieure de la cime s'écarte et la tendance à l'affaissement s'accroît.

Tableau 3

	Perte en aiguilles feuilles	Stade des dégâts			
		0	1	2	3 et 4
1983	Sans jaunissement	665.000 ha 51,1 %	405.100 ha 31,1 %	223.900 ha 17,2 %	8.500 ha 0,7 %
1984	Avec jaunissement	440.700 ha 33,8 %	550.900 ha 42,3 %	285.200 ha 21,9 %	25.800 ha 2,0 %
1985	Avec jaunissement	441.400 ha 33,9 %	509.900 ha 39,1 %	318.700 ha 24,5 %	32.600 ha 2,5 %

Les causes

Une importante conclusion se dégage de l'analyse des données relativement nombreuses recueillies récemment: la maladie n'est pas imputable aux caractéristiques de la sylviculture ou à des erreurs dans ses méthodes. Il existe un rapport manifeste entre les dommages actuellement subis par les forêts et la présence de substances toxiques dans l'atmosphère.

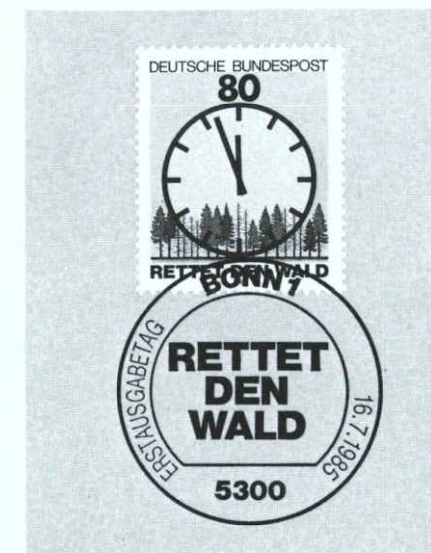
Le fait que les dégâts d'un type nouveau apparaissent simultanément depuis quelque temps en Europe centrale, et s'accroissent continuellement sans que les causes traditionnellement connues soient à incriminer, a incité le Conseil de la recherche de la République fédérale à suggérer: « que le même facteur ou le même groupe de facteurs intervient dans la responsabilité de cet état de choses. Il s'agit avec une probabilité voisine de la certitude des substances toxiques contenues dans l'atmosphère et de leurs produits dérivés. Selon leur concentration ces substances peuvent occasionner des dégâts immédiats ou prédisposer à des dégâts sous l'influence de changements des conditions météorologiques ou de facteurs biotiques ».

Les substances toxiques agissent en l'occurrence selon un processus très complexe qui peut présenter des aspects fort différents dans l'espace et dans le temps. L'influence exercée par les divers facteurs varie également.

Parmi les substances toxiques l'anhydride sulfureux, les hydrocarbures et surtout l'oxyde d'azote et leurs produits dérivés jouent un rôle essentiel. Parmi les facteurs qui peuvent intervenir dans l'ensemble des causes il y a lieu de distinguer:



L'enterrement d'un ami cher
(Photo Vicky Alhadeff - Friends of the Earth)



- les substances toxiques de l'atmosphère et leurs produits dérivés,
- le climat et les conditions météorologiques,
- les êtres vivants en tant que sources de dégâts,
- l'état et l'emplacement des peuplements à la suite d'une évolution de longue durée.

La complexité des causes ressort du seul fait que le climat et les conditions météorologiques sont étroitement liés aux autres facteurs. La constitution des peuplements dépend dès l'origine du climat: l'effet exercé par les substances toxiques de l'atmosphère en découle; le développement des parasites biotiques subordonnés au climat et les dégâts occasionnés par eux — tels que la déperdition d'éléments nutritifs dans les aiguilles — sont intensifiés par les conditions météorologiques (par exemple par le gel).

L'effet complexe des éléments nuisibles est multiplié par la possibilité d'une action directe au niveau des rejets ainsi que par l'influence indirecte qui s'exerce au niveau du sol et des racines. L'influence immédiate des substances toxiques de l'atmosphère et celle qui provoque une prédisposition se manifestent par:

- des perturbations dans la photosynthèse et la respiration,
- des lésions à la surface des feuilles ou des aiguilles et le lessivage d'importants éléments nutritifs,
- des perturbations dans la production du pollen et dans le développement des fruits et des graines.

En règle générale les substances toxiques prises isolément ne peuvent pas causer de dégâts dans les forêts.

Ce sont surtout les effets combinés de plusieurs substances toxiques et de leurs produits dérivés (par exemple les photooxydants) qui sont à incriminer.

Les conséquences

Les premiers lésés sont les propriétaires de forêts qui subissent dès à présent d'importantes pertes d'exploitation. L'utilisation de bois endommagé par les produits toxiques occasionne des frais de coupes élevés. Il faut de plus en plus adapter les soins sylvicoles aux progrès du mal. La reconstitution des sous-bois doit immédiatement être assurée, à grands frais, dans les peuplements qui se sont éclaircis afin de permettre, si possible, le renouvellement des forêts. La menace d'une offre surabondante de bois exerce une pression sur les cours du marché. Les mesures préventives contre les parasites biotiques coûtent cher. Les peuplements dans lesquels des clairières se créent sont de plus en plus exposés aux dégâts provoqués par les tempêtes et la neige. En République fédérale, un nombre croissant de propriétaires de forêts s'adressent aux tribunaux pour demander des dédommagements.

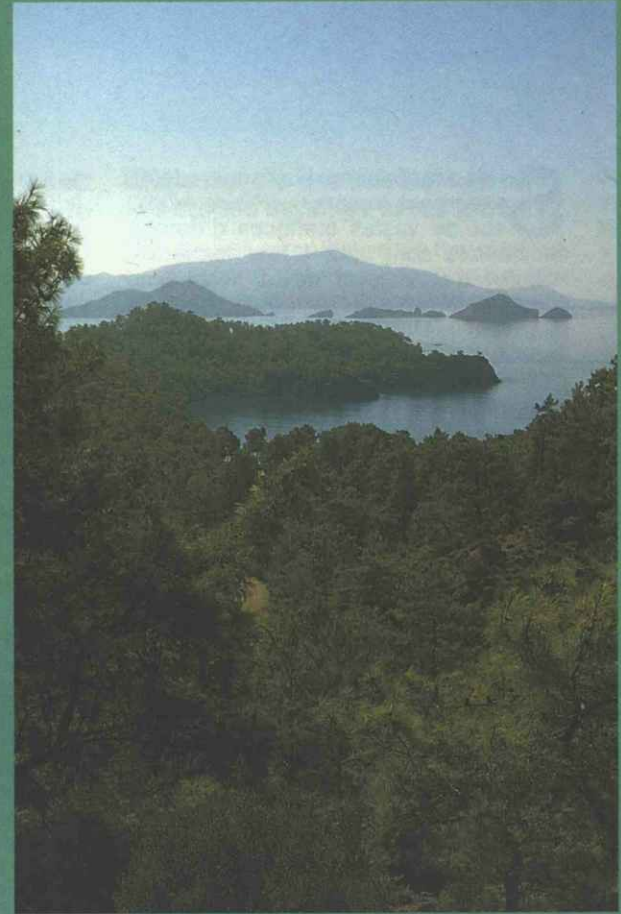
Le dépérissement de la forêt lui fait perdre ses fonctions de protection et d'infrastructure de récréation. Cela est surtout sensible dans les zones montagneuses: du fait que le milieu naturel est totalement bouleversé à la suite des dégâts subis par la forêt, l'habitat est gravement menacé, même celui de l'homme.

Finalement la mort des forêts a un profond retentissement sur l'économie nationale. Dans la seule République fédérale d'Allemagne, 750.000 emplois dépendent de l'économie et de l'exploitation forestières. Les mesures de compensation destinées à rendre à la forêt ses fonctions de protection coûteraient des milliards. L'existence de nombreux propriétaires de forêts est en jeu et le tourisme risque de subir de lourdes pertes.

Les observations et les données les plus récentes ne permettent malheureusement pas de conclure que la forêt se remettra d'elle-même. Les dangers mentionnés continuent de planer sur elle, peut-être à un moindre degré dans certaines régions, mais d'une manière beaucoup plus spectaculaire en montagne. Il est grand temps d'agir. Un pays à lui seul ne peut obtenir des résultats tangibles, s'agissant de la réduction des substances toxiques contenues dans l'atmosphère qui concerne finalement aussi bien l'homme que la forêt. Il faut que l'Europe toute entière se solidarise dans ce domaine. ■



1



4

Patrimoine précieux —

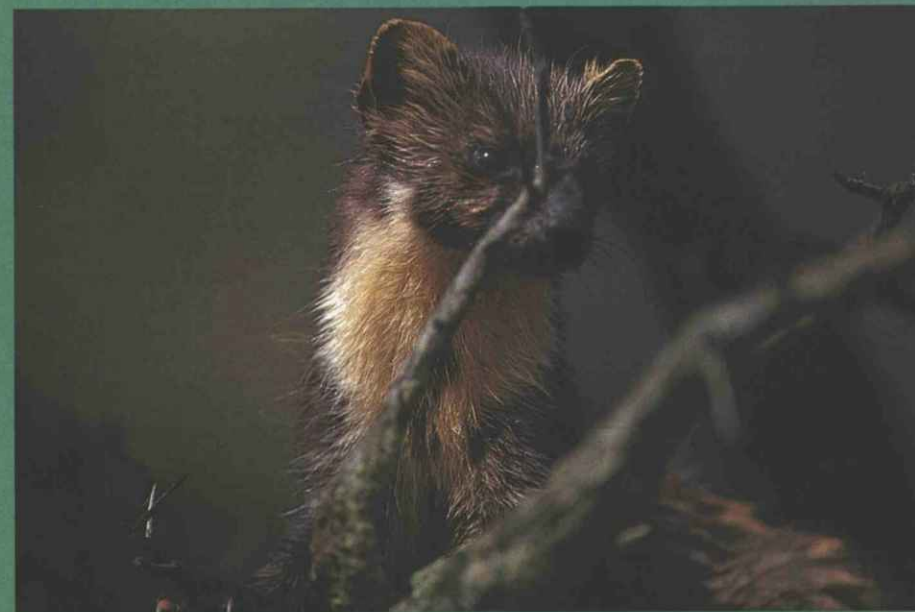
la forêt est un indicateur
de la santé de l'environnement



2



3



5



6

Bilan critique

Hans Mohr

Si les cris d'alarme relatifs à un «dépérissement forestier» (*Waldsterben*) sur de vastes étendues d'Europe occidentale sont sans doute excessifs, l'observateur objectif devra néanmoins constater que l'ampleur des dommages subis par les arbres dans les zones de moyenne montagne est préoccupante. Le passé aussi, il est vrai, a connu des épidémies régionales ayant provoqué la mort d'une forêt, par exemple celle des sapins vers 1860 et 1900 dans la moyenne montagne allemande. Mais les maladies actuelles (le «nouveau dépérissement forestier») que chacun peut reconnaître depuis 1980, dépassent toutefois manifestement les calamités qui nous sont rapportées par l'histoire. Aussi bien les conifères (sapins blancs, épicéas et pins) que les principaux feuillus (hêtres et chênes) sont touchés.

L'aggravation rapide des dégâts causés aux colonies d'épicéas dans les régions d'air pur de la Forêt Noire, des Préalpes et des Alpes calcaires du nord, est frappante depuis 1980/1981. Certes, il s'amorce depuis, commençant avec le sapin, un phénomène général de régénération — favorisé vraisemblablement par les débuts d'été pluvieux des années 1984 et 1985 —, mais il est impossible que le «nouveau dépérissement forestier» prenne à nouveau fin de lui-même. Ce qu'il faut au contraire, c'est réduire d'une manière décisive les émissions de matières polluantes dans l'atmosphère.

Les polluants atmosphériques, cause du «nouveau dépérissement forestier»

Comment expliquer les «dégâts fondamentaux», c'est-à-dire les phénomènes de dépérissement couvrant de vastes étendues en Europe? On ne peut confondre ce «nouveau dépérissement forestier» avec des perturbations locales de la croissance des forêts dues à des facteurs locaux (sécheresse, coups de froid, épidémies, erreurs de boisement, tempêtes), qui ont toujours existé.

On a aujourd'hui de bonnes raisons de penser que le «nouveau dépérissement forestier» est provoqué par des matières polluantes transportées par l'atmosphère (matières polluantes atmosphériques) principalement le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO_x), l'ozone (O_3) et — éventuellement — les matières carboniques. La question est de savoir comment ces matières polluantes exercent leurs effets nocifs. Dans l'analyse ci-après, je parlerai tout d'abord de la Forêt-Noire, car il s'agit là d'une région d'air pur recevant peu de SO_2 et où le relevé des dommages, tant sur l'ensemble de la superficie que sur des zones sélectionnées d'observation permanente a été effectué d'une manière particulièrement attentive.

Dégâts classiques dus aux fumées?

On peut dire avec certitude que les dégâts constatés en Forêt-Noire ne sont pas les dégâts «classiques» causés par les fumées, connus depuis le Moyen Age au voisinage des usines métallurgiques, et dus à de fortes émissions de SO_2 . En cas de dépôt prolongé de ce composé, des dégâts peuvent néanmoins survenir dès que la valeur-seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est atteinte. En cas de dégât aigu, on observe chez les conifères des décolorations caractéristiques des aiguilles, notamment une nécrose brun rouge des crêtes chez le sapin, qui constitue à cet égard une espèce particulièrement sensible. Tandis que le dépérissement actuel des forêts (ici au sens littéral du terme) constaté dans les montagnes du Erz, en Union soviétique, en Pologne, mais également dans le nord-est frontalier de la Bavière — est manifestement provoqué par les fortes émissions de SO_2 — ses valeurs les plus élevées atteignent $1.500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ —, on ne trouve pas, dans les régions d'air pur, de corrélation entre les dégâts constatés et la faible importance du dépôt de SO_2 (de 5 à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air). De plus, en République fédérale d'Allemagne, le dépôt de SO_2 a plutôt diminué depuis 1970. Il est à noter également que le dépôt de SO_2 plus élevé dans les grands centres (de 40 à $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Fribourg et Karlsruhe) n'a entraîné jusqu'ici, dans les jardins et les parcs, aucun dégât dû à la fumée.

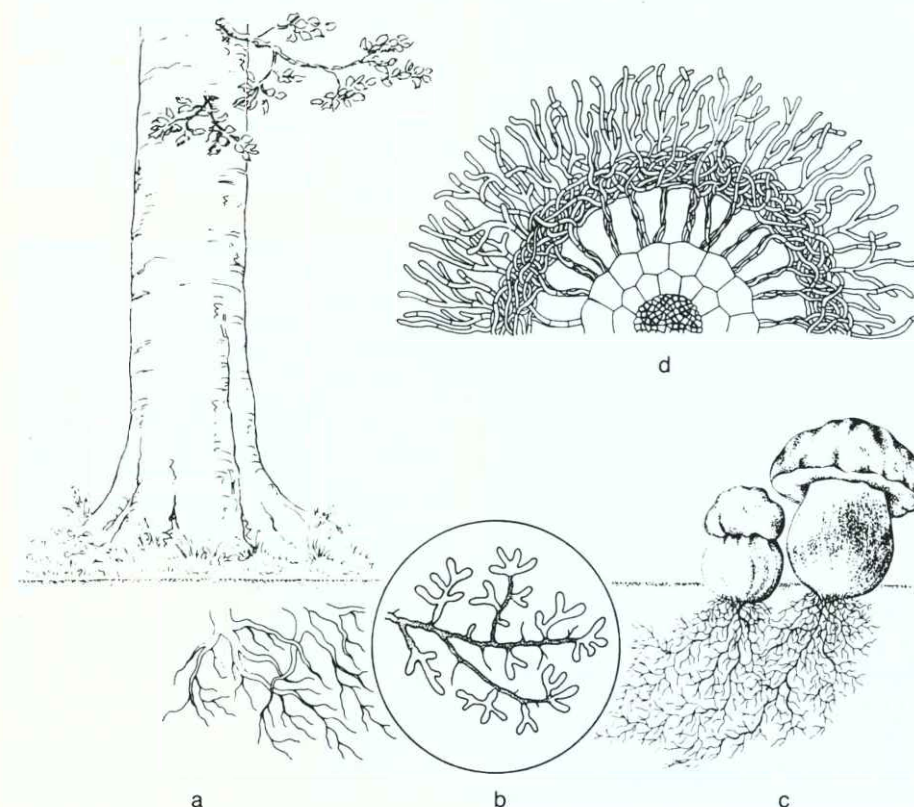
Les pluies acides, cause du mal?

Les «pluies acides» furent un temps considérées comme la cause principale du dépérissement forestier de plus en plus répandu. Mais on oubliait souvent que toutes les pluies tombant sur la terre sont naturellement acides (pH 5,4-5,6) et que les régions industrielles connaissent des taux d'acidité de 10 à 15 fois supérieurs depuis des centaines d'années sans que l'on eût observé des dégâts forestiers comparables à ceux d'aujourd'hui. Certes, un apport accru d'acide dans le sol de nos forêts est peu souhaitable (lessivage de cations!), mais il n'y a pas actuellement de corrélation entre l'importance de l'apport d'acide et celle des dégâts forestiers. Dans la zone de Freudenberg, par exemple, où les dégâts sont particulièrement nets, l'apport de protons n'est que d'environ 1 kmol par hectare et par an. Cette valeur minimale, qui ne représente qu'une fraction de la production naturelle d'acide dans le sol, a également été observée dans d'autres régions d'Allemagne méridionale touchées par le dépérissement forestier. On n'a pas pu constater, dans les cinq dernières années, de tendance à l'augmentation de l'apport d'acide, tout au contraire. Dans le Schauinsland dans le sud de la Forêt-Noire, la valeur du pH des précipitations humides augmente à nouveau régulièrement depuis 1976. Malgré cela, le dépérissement s'est aggravé,

même aux endroits qui, de par leur composition rocheuse, sont bien pourvus en calcium et en magnésium (Alpes souabes, Alpes calcaires).

L'idée selon laquelle les «pluies acides» entraîneraient, par la libération d'ions d'aluminium toxiques pour les racines, le dépérissement des arbres, n'a trouvé aucune confirmation — du moins pour les régions touchées du sud de l'Allemagne. Il a été montré entre-temps que, dans les régions d'air pur de Forêt-Noire, une toxicité de l'aluminium comme facteur intervenant dans le dépérissement des sapins et des épicéas est à exclure.

Mycorhize. Un hêtre rouge (a) est le partenaire symbiotique du cèpe de Bordeaux (c), dont on voit le carpophore et le mycélium souterrain richement ramifié. L'agrandissement (b) montre la constitution de la mycorhize aux pointes des racines; l'extrait microscopique d'une coupe transversale d'une pointe de racine (d) montre l'organisation d'une mycorhize ectotrophe.



Effets directs des substances nocives sur les aiguilles et les feuilles?

Une analyse comparative n'a fourni aucun élément corroborant la thèse selon laquelle les matières nocives atmosphériques agiraient sur les organes de la feuille. Les symptômes des dégâts observés sur les feuilles et les aiguilles, mais également à l'architecture des arbres en plein air, ne peuvent être provoqués expérimentalement par une exposition à des concentrations et combinaisons courantes dans l'environnement des substances polluantes SO_2 , NO_x et autres.

Tous les indices donnent à penser que les dégâts qui deviennent visibles aux aiguilles et aux feuilles (vieillesse précoce, jaunissement, chute précoce des aiguilles ou des feuilles, envahissement par les champignons), sont à considérer comme des dégâts secondaires, comme les symptômes d'une maladie touchant l'organisme tout entier.

Dysfonctionnement des mycorhizes comme cause du «nouveau dépérissement forestier»

Nos arbres forestiers, tant les conifères que les feuillus comme les hêtres et les chênes, présentent des mycorhizes ectotrophes. On entend par là une symbiose des racines avec les hyphes de certains champignons

du sol (surtout les basidiomycètes). La mycorhize se caractérise par le fait que, par leur liaison avec le partenaire champignon approprié, les racines, normalement fines et filiformes, se ramifient en deux à leurs extrémités, en s'épaississant ou en prenant un aspect corallien (voir schéma). Les hyphes des champignons ne pénètrent pas dans les cellules des racines (d'où «ectotrophes»), mais croissent entre les cellules extérieures de l'écorce, qu'elles enveloppent en formant un réseau (réseau de Hartig). A la surface supérieure de la racine se forme un manteau de champignons qui la protège contre les attaques d'organismes pathogènes en provenance de la rhizosphère, et à partir duquel les hyphes rayonnent loin dans le sol. Physiologiquement, il existe entre les cellules de la racine et les hyphes des champignons un échange intime de matières. Le champignon puise dans l'arbre des hydrates de carbone libres et des vitamines, par exemple la thiamine, qu'il est incapable de synthétiser lui-même. L'arbre se procure, par l'intermédiaire de l'entrelacs d'hyphes dans le sol, de l'eau et des sels nutritifs, essentiellement des liaisons azotées et phosphorées, mais également les cations. La mycorhize représente pour l'arbre un système d'absorption très étendu, très ramifié pour l'eau et les ions essentiels, beaucoup plus efficace qu'un système de racines normal. De son côté, le champignon dépend à tel point de l'arbre qu'il ne développe des carpophores que si la mycorhize est intacte. Dans des conditions normales, les carpophores du partenaire champignon apparaissent en automne à la surface du sol. C'est à cette catégorie qu'appartiennent de nombreux agarics et bolets connus, que l'on ramasse également pour leur consommation. L'équilibre symbiotique, d'apparence harmonieuse, entre le champignon et l'arbre est facilement perturbé par des influences du milieu.

En cas de perturbation de la mycorhize, l'arbre présente des troubles de croissance et un pourrissement de ses racines. Des expériences réalisées avec de jeunes pousses d'arbres forestiers ont montré que celles-ci, en présence d'une mycorhize insuffisante, s'étiolent ou meurent même si l'analyse du sol révèle une teneur suffisante en substances nutritives. On sait d'autre part depuis longtemps que des dégâts graves au réseau de racines favorisent la mort des sapins.

L'explication actuellement la plus plausible pour le «nouveau dépérissement forestier» est qu'une présence largement excessive d'azote dans l'air (NO_3^- , NH_4^+) porte atteinte à la mycorhize et réduit ainsi considérablement l'alimentation des arbres en eau et en sels nutritifs (anions et cations), tout au moins dans les sols pauvres en humus et peu actifs du point de vue microbien, sur lesquels les dégâts forestiers sont particulièrement visibles.

Il semble que cette explication des dégâts forestiers soit acceptable pour tous les phé-



Ebersteinburg (RFA). Peinture de Karl Frommel, 1832: les sapins présentent les phénomènes de «nids de cigogne» et d'éclaircies subapicales (Photo Kunsthalle Karlsruhe)

nomènes observés, ce qui n'est pas le cas avec les autres hypothèses citées plus haut. Parmi ces phénomènes, les principaux sont les suivants:

1. L'apport d'azote provenant des processus de combustion (automobiles, chauffage, usines) a augmenté, ces derniers temps, d'une manière vertigineuse. Les dépôts de NO_3^- et de NH_4^+ ont représenté ensemble, en Forêt-Noire, des quantités totales annuelles d'azote allant jusqu'à 40 kg/ha, ce qui est beaucoup plus que ce dont les peuplements forestiers ont besoin pour constituer de la biomasse nouvelle. On compte qu'un bois d'épicéas a besoin annuellement tout au plus de 5 kg d'azote par hectare.

2. Les plantes et sous-arbrisseaux herbacés, que l'on considère comme des «indicateurs d'azote», se développent rapidement, dans les bois, partout où il y a suffisamment de lumière; c'est le cas par exemple du mûrier, de la grande ortie, de l'origan d'eau, du séneçon. D'autre part, on observe depuis quelque dix ans un recul dramatique de la formation des carpophores des champignons du sol.

3. Des observations et des expériences concluantes montrent qu'une augmentation de l'azote minéral dans le sol rend progressivement plus difficile, et finalement presque impossible, la constitution de la mycorhize et la ramification des racines. Dans la phase initiale de l'apport d'azote dans un écosystème forestier, on observe une stimulation passagère de la croissance, l'azote étant généralement un élément insuffisamment présent dans les sols pauvres des forêts.

4. Tant que les ectomycorhizes fonctionnent convenablement, la plante peut être

préservée de l'acidification courante du sol et des concentrations toxiques d'ions d'aluminium.

5. Mais chez de jeunes pins *Pinus taeda* exposés au SO_2 et à l'ozone, on n'a constaté une réduction du poids des racines qu'en l'absence de mycorhizes, mais non, en revanche, lorsque ces mycorhizes étaient intactes.

6. Contrairement à ce qui se passait auparavant, le sapin réagit aux mois secs et chauds de l'été, même dans les couches supérieures de la Forêt-Noire, par un ralentissement de la croissance. Le sapin est, pour ainsi dire, devenu beaucoup plus sensible au stress de l'eau. Cette observation permet également de penser que les perturbations de l'alimentation en eau et en cations jouent, d'une manière générale, un rôle important dans les maladies des forêts. L'explication la plus immédiate, et qui est au fond aussi la seule, de ces déficits, est un dysfonctionnement de la mycorhize.

7. Les images de dépérissement des sapins que nous ont laissées d'autres époques sont identiques aux images d'aujourd'hui! (voir illustration). La cause en est donc vraisemblablement identique. On sait de la mycorhize qu'elle peut être aussi gravement perturbée par des périodes de sécheresse que par des apports excessifs d'azote. L'année 1832 connut en effet une sécheresse prolongée.

On pourrait presque allonger cette liste à volonté. Comme nous l'avons dit plus haut, il n'y a, semble-t-il, aucun phénomène en rapport avec le «nouveau dépérissement forestier» qui ne puisse s'expliquer par l'hypothèse d'un dysfonctionnement de la mycorhize dû à un apport excessif d'azote.

Conclusions

Une réduction rapide et effective de l'introduction d'azote anthropogène dans les écosystèmes forestiers est la toute première chose à faire pour lutter contre le dépérissement des forêts. On ne pourra y arriver que si l'on équipe immédiatement les automobiles de catalyseurs et les hauts-fourneaux de dispositifs de dénitrification. La production également considérable de NO_x par de petits foyers (par exemple les chauffages au gaz, au mazout et au charbon) pourrait être rapidement réduite par le remplacement des chauffages traditionnels par des pompes à chaleur, fonctionnant à l'électricité générée par des moyens physiques.

Le «nouveau dépérissement forestier» nous montre clairement que nous n'avons pas (encore) maîtrisé les problèmes de dénitrification de la technologie du charbon, du pétrole et du gaz naturel. Les nombreux phénomènes de régénération décelables dans les forêts touchées montrent, il est vrai, que la mycorhize commence, à maints endroits, à s'adapter aux nouvelles conditions. Il ne fait néanmoins aucun doute que la réduction des émissions de NO_x constitue une condition *sine qua non* pour le rétablissement complet des écosystèmes forestiers. ■

Le coût

Jacob Swager

Seules des mesures draconiennes, notamment dans le domaine des ressources énergétiques et de la circulation automobile, permettront de réduire les niveaux d'acidification de l'environnement et de résoudre le problème concomitant de la pollution photochimique de l'atmosphère. Le coût de ces mesures est certes considérable, mais il est compensé par les dégâts évités. Ces économies peuvent même être partiellement chiffrées.

La réduction s'impose

Il ne faut cependant pas croire qu'en s'abstenant d'agir, on réaliserait des économies: les dégâts énormes et parfois irréversibles causés par les pluies acides appauvrissent tous les pays d'Europe et il faudra de toute façon prendre des mesures pour y remédier.

Comme le coût des mesures peut encore être considéré comme un obstacle à la réduction des émissions polluantes, il serait sans doute bon d'en évaluer le montant et de le mettre en balance avec les économies financières réalisées.

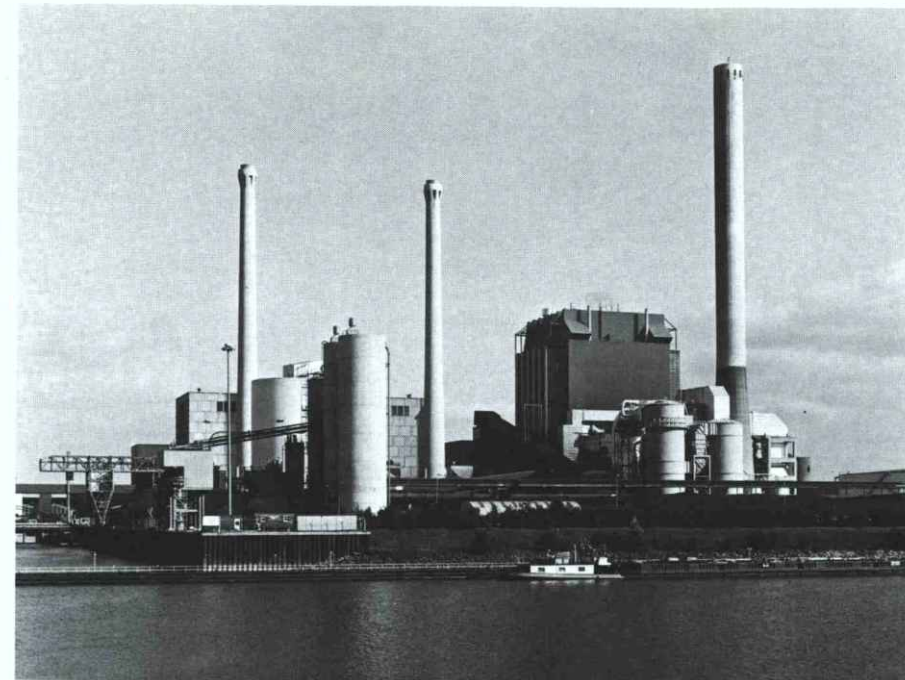
Précisons d'emblée que la question de savoir s'il faut réduire les émissions polluantes ne dépend pas des résultats de cette analyse coût-rendement. Le premier argument de cette affirmation est d'ordre quelque peu philosophique; l'homme doit se conduire comme l'hôte de son environnement: en d'autres termes, nous devons veiller à léguer aux générations futures un cadre de vie correct. En raison des conséquences graves des pluies acides, dont certaines sont irréversibles, le problème doit être traité à fond. D'autres arguments également valables reprennent des principes

du droit international concernant l'environnement. La Conférence des Nations Unies organisée à Stockholm en 1972 a posé en principe qu'aucun pays ne devait causer de dommages à l'environnement d'autres pays. Un autre principe tout aussi pertinent élaboré à l'OCDE est celui d'un pollueur-payeur. En raison de l'interdépendance des pays européens, chacun a le devoir de ramener ses émissions polluantes à un niveau auquel elles n'entraînent plus de dégâts pour un autre. Il n'est plus question de savoir si l'on va ou non prendre des mesures de réduction, mais de dire quelles sont les mesures qui s'imposent.

Analyse coûts-avantages

Une analyse complète des coûts et des avantages comporte celle de nombreux problèmes connexes. D'une part les pollueurs commencent à réagir. Quelles sont les prévisions en matière de croissance économique, de technologies, d'économies d'énergie et de sources d'énergie? Quels programmes de lutte peut-on imaginer? Quels en sont les coûts et les effets indirects, par exemple pour l'emploi? D'autre part, il faut vérifier les conséquences des programmes de lutte contre l'acidification. Où va la pollution? Quels sont les dégâts constatés? Comment différents types de pollution se combinent-ils? Quelle est l'implication des mesures de lutte pour l'exposition des êtres humains, des matériaux, de la végétation, du sol, de l'eau, etc.? Dans quelle mesure en résultera-t-il moins de dégâts à court et à long terme; autrement dit, quels sont les avantages escomptés?

Usine avec système moderne de dépollution (Photo PGEM)



En ce qui concerne les composés du soufre, les recherches sont suffisamment avancées pour que l'on connaisse les rapports entre les divers aspects de la pollution, ce qui est loin d'être le cas pour d'autres substances importantes. Ce n'est que récemment que l'on a compris que l'ozone (provenant des oxydes d'azote et des hydrocarbures) jouait probablement un rôle majeur dans la mort des forêts et dans d'autres types de dommages infligés à la végétation à travers l'Europe. C'est ainsi qu'aux Pays-Bas on estime que les pertes agricoles dues à l'ozone représentent 120 millions de dollars par an; des études effectuées en Californie sur les dommages causés aux vignobles permettent de conclure à des dégâts également importants en Europe. On commence à mieux comprendre aussi le rôle ambivalent de l'ammoniaque. Les composés de l'ammonium peuvent dans le sol se transformer en nitrates, notamment en cas de dépôts importants. Ainsi une pluie qui n'est pas elle-même acide peut avoir des effets extrêmement acidifiants!

On ne sait toujours pas avec certitude à quel niveau il faudrait réduire les émissions polluantes pour arrêter le processus d'acidification. Pour l'Europe occidentale, des réductions d'au moins 70 % pour SO₂ et 35 % pour NO_x pourraient s'avérer nécessaires. En outre, dans les régions d'élevage intensif, il conviendrait également de réduire les émissions de NH₃. On ignore pour l'instant quelle est la meilleure façon d'aborder le problème de l'ozone.

Puisque le phénomène de l'acidification déborde les frontières nationales, les analyses coûts-avantages devront se situer dans un contexte européen. La Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies et l'OCDE effectuent actuellement des analyses portant respectivement sur

SO₂ et NO_x et sur la pollution photochimique de l'atmosphère. Toutefois, en raison du flou des informations scientifiques disponibles et des difficultés intrinsèques de l'estimation des coûts et des avantages, ces analyses n'apporteront pas de réponse définitive. La valeur d'une analyse coûts-avantages d'une réduction des émissions polluantes tient davantage à ce qu'elle pourrait apporter pour une meilleure description du problème qu'aux chiffres qu'elle fournira pour la comptabilité sociale et écologique.

On peut pour l'instant raisonnablement se laisser guider par les résultats d'études moins complètes qui existent déjà.

Etudes coûts-avantages

A la fin des années 70, l'OCDE a élaboré des projets concernant une diminution des émissions de SO₂ dans douze pays d'Europe occidentale pendant la période 1975-1985. Le coût de la transformation d'une hausse prévisible de 25 % en une baisse de 35 % par rapport aux niveaux de 1974 s'élèverait en définitive à 12 dollars par personne et par an. Il faudrait rapprocher ce chiffre du gain de 8 à 70 dollars par an dû à la réduction des dommages causés aux matériaux, aux produits agricoles et à la santé. On n'a pas tenu compte de facteurs comme l'allongement de la durée de vie ou le ralentissement de la dégradation des bâtiments, monuments et archives. Cette étude a révélé l'importance d'une action concertée: chaque état profiterait donc des mesures prises par les autres en plus de ses propres mesures.

Une étude effectuée en 1983 pour la Commission des Communautés européennes a comparé les coûts de la lutte anti-pollution dans la Communauté aux bénéfices écono-

miques. Elle a estimé qu'une diminution des émissions de SO₂ de 56 à 67 % entre 1980 et l'an 2000 dans les pays de la Communauté coûterait de 16 à 23 dollars par personne et par an en l'an 2000. Les bénéfices pour ces mêmes pays se situeraient entre 10 et 50 % de cette somme. L'étude ne prenait pas en compte les dégâts causés aux forêts et aux écosystèmes aquatiques, ni les effets sur la santé.

Pour les Pays-Bas, on a calculé récemment que le coût de la lutte contre les pluies acides représenterait en l'an 2000 20 dollars environ par personne (pour une réduction de 50 % des émissions de NH₃, de 30 % de NO_x et de 55 % de SO₂). On peut estimer que les bénéfices se situeraient entre 15 et 40 dollars.

Conclusions

Les pluies acides coûtent très cher. De toute façon, les pays sont obligés, par principe, de combattre ce processus. Une action concertée profiterait à tous. Le coût d'une réduction des émissions polluantes n'est pas tellement exorbitant: il devrait atteindre quelques dizaines de dollars par personne et par an aux environs de l'an 2000. Outre quantité d'avantages intangibles, ces mesures amèneraient des bénéfices financiers. Ceux-ci seraient comparables ou équivalraient à la réduction d'une multitude de dépenses. Ainsi, même d'un point de vue économique, il est rationnel d'agir contre les pluies acides. ■



Giorgio Torraca

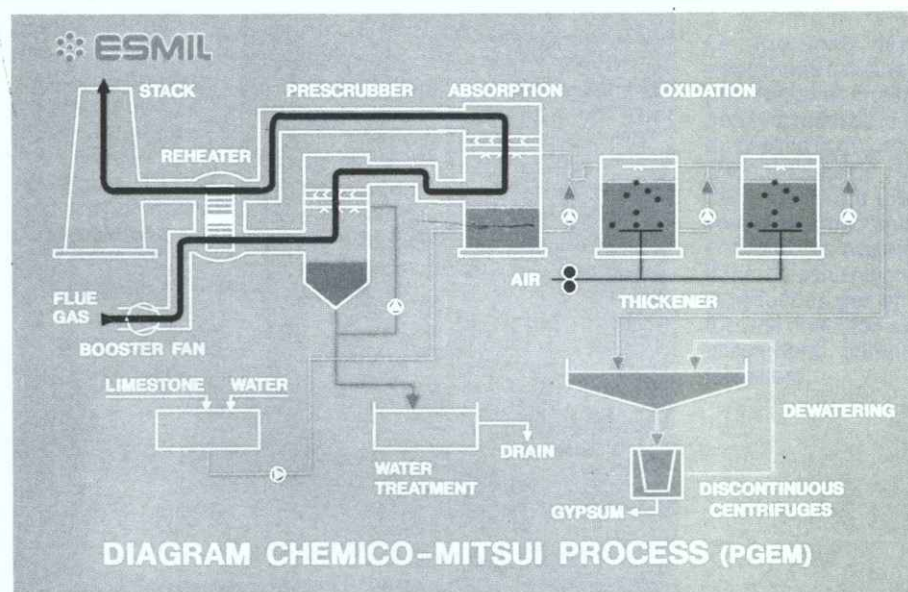
Quand les pierres dépérissent

Les sculptures exposées en plein air et tous les matériaux de parement des édifices (pierres, revêtements, mosaïques, céramiques) se dégradent en général plus vite que ceux conservés à l'intérieur. Les écarts thermiques et l'eau sont en effet les principaux facteurs du processus de dégradation, car ils provoquent des tensions mécaniques et des réactions chimiques capables de fragmenter les matériaux, de les transformer en de nouveaux composés moins résistants.

Action de l'eau

L'eau a une action plus complexe et plus pernicieuse sur de nombreux matériaux en raison de leur porosité et des éventuelles fissures qui permettent une action chimique en profondeur et la formation de cristaux de glace ou de sel dans certaines conditions climatiques (gel ou évaporation); il en résulte des tensions mécaniques particulièrement dangereuses parce qu'elles agissent à l'intérieur du matériau.

La pollution atmosphérique a une influence sur l'élément chimique des processus d'altération, car elle entraîne la formation d'acides (sulfurique, nitrique et autres) dans l'eau de l'atmosphère (pluie, rosée, aérosols); ces acides, associés à l'acide carbonique beaucoup plus faible et toujours présent puisqu'il est produit par des sources naturelles et non seulement humaines, accélèrent toutes les réactions de transformation des matériaux.



Arc de Constantin (Italie) — érosion causée par la pluie; croûtes noires dans les parties restaurées et dégâts provoqués par leurs chutes (Photo G.T.)

Les produits de ces transformations sont généralement instables, car solubles dans l'eau, et ils sont facilement transportés par la pluie ou pénètrent dans les pores ou les fissures lorsque le matériau est mouillé par suite d'un phénomène de condensation (rosée) ou de dispersion (aérosol).

Tandis que l'action directe de la pluie provoque une érosion superficielle, qui est d'autant plus rapide que la pluie est acide, dans le cas de la formation d'un voile d'eau, les acides atmosphériques atteignent la surface en même temps que toutes les particules en suspension dans l'air (fumée, poussières, sels,...) et migrent jusqu'à une certaine profondeur en provoquant des réactions de transformation. Au moment de l'évaporation les produits de réaction (sels solubles) remontent à la surface et forment, après maintes répétitions de ce processus, une croûte qui contient aussi les particules solides en suspension dans l'air. Dans les villes, cette croûte est de couleur noire en raison de la présence de particules de carbone et de fer: elle n'a aucun rôle protecteur car elle est sillonnée de canaux et de fissures et recouvre un matériau en partie décomposé par l'action des acides. Sur les surfaces qui ne sont pas touchées par la pluie, l'agression atmosphérique peut donc se propager en profondeur sur plusieurs centimètres au-delà de la croûte, sous l'apparence trompeuse d'une surface sale mais saine.

Les réactions chimiques qui se produisent à l'intérieur des matériaux sont très compliquées et souvent mal connues en raison du grand nombre de polluants présents dans l'air et de la composition complexe de nombreux matériaux.

Parmi les polluants, on connaît l'action destructrice de l'anhydride sulfureux qui, après oxydation, se fixe sur les surfaces comme le sulfate de calcium (plâtre) qui est un composant omniprésent et abondant de la croûte noire en milieu urbain.

Dégradation des matériaux

En ce qui concerne les matériaux, il en est qui posent encore quelques énigmes (par exemple, les grès ou le granit) mais il en est d'autres dont on connaît avec une bonne précision le processus de dégradation. C'est le cas du marbre blanc (par exemple celui de Carrara ou de Grèce) qui a servi à la construction de monuments de très grande valeur historique ou esthétique comme l'Acropole d'Athènes, les arcs de triomphe et les colonnes de Rome, le Taj Mahâl à Agra, le Mémorial de Lincoln à Washington.

Le marbre blanc, à peine extrait des carrières, est composé de gros cristaux rhombiques de calcite, qui se sont formés dans les profondeurs de la terre sous de hautes pressions et qui sont parfaitement adhé-

rents entre eux; il s'agit donc d'un matériau très peu poreux.

À la surface de la terre, le marbre subit néanmoins des traumatismes dus au travail de sa surface (par exemple sous l'action du burin), aux fortes variations de température et à l'action de l'eau. Les cristaux de calcite, par exemple, lorsqu'ils s'échauffent, se dilatent dans le sens longitudinal (axe principal) et se contractent dans le sens transversal, ce qui provoque des micro-tensions fréquentes et, à la longue, l'apparition de fractures microscopiques dans lesquelles s'infiltreront immédiatement des molécules d'eau. En vieillissant, le marbre devient de plus en plus poreux; sous l'action directe de la pluie, les cristaux se séparent les uns des autres puis s'écartent, tandis que les phénomènes de rosée ou d'aérosol conduisent à la formation de croûtes noires dans les zones protégées. Comme nous l'avons déjà dit, les acides peuvent pénétrer sous les croûtes noires et provoquer une décomposition profonde.

La pluie peut emporter 4 à 5 mm de pierre en un siècle (certes, ce chiffre varie beaucoup selon les conditions locales) mais dans les parties noires, des morceaux entiers de sculptures peuvent s'effriter sur une profondeur de plusieurs centimètres à cause du traumatisme mécanique.

Les effets dramatiques produits par les acides atmosphériques sur les matériaux antiques s'expliquent donc par le fait que ces matériaux ont déjà été en partie altérés par leur longue exposition aux écarts thermiques, à l'eau (ou au burin des ouvriers et aux brosses des restaurateurs). De plus, dans leur action destructrice, les polluants s'ajoutent aux autres facteurs de dégradation. Il n'est donc pas facile d'établir des coefficients de corrélation entre l'acidité et la vitesse d'altération, même si l'accélération de la dégradation causée par la pollution est un concept prouvé et largement reconnu par les spécialistes de la conservation. ■

(Photo Min. VROM)



Le rôle de l'industrie

Max Steiner

Lorsque, dans le cadre de ce document, nous nous interrogeons légitimement sur la mission, le rôle et la responsabilité de l'industrie, nous ne pouvons manquer, dès l'abord, d'être frappés par la complexité des installations et des opérations qui caractérisent de nombreux processus de production. L'industrie doit produire, fabriquer, en quantités illimitées, les produits les plus divers. Sur le long et exigeant chemin allant jusqu'au produit fini, les processus de transformation, de caractère surtout thermique ou chimique, sont inévitables. Or tous, ou presque, consomment de l'oxygène, l'oxygène de notre atmosphère et — chose beaucoup plus préoccupante — ils le transforment en substances nocives, qui perturbent l'équilibre indispensable à la survie de l'économie planétaire.

Que les responsables de l'industrie ne veuillent plus mesurer leur tâche aux seuls critères de la quantité et de la qualité des produits réalisés — ni à celui de la réussite économique — cela ne fait aucun doute. La question de savoir quelle charge la production peut aujourd'hui imposer à l'environnement est posée. Aucun ingénieur conscient de ses responsabilités ne se soustraira aujourd'hui aux problèmes qui en découlent.

L'évolution de la situation en Suisse, où des efforts intensifs et à long terme ont été déployés, confirme, par les résultats obtenus, la possibilité dans certaines conditions, de ramener le taux de pollution de l'atmosphère à un niveau nettement inférieur au niveau dangereux pour l'environnement. Cette constatation optimiste ne s'applique toutefois essentiellement qu'aux installations fixes et donc aux processus de fabrication des produits, c'est-à-dire à la production industrielle proprement dite. Toute différente se présente la situation dans le cas de l'automobile, dont le moteur est actionné par la combustion d'un carburant; on peut certes analyser beaucoup mieux qu'autrefois les substances nocives qu'il dégage, mais les progrès réalisés pour les réduire sont bien moins évidents qu'en ce qui concerne les unités de production, nos « usines ».

Nous mettrons donc entre parenthèses, dans les lignes qui suivent, le problème de l'automobile, car l'influence que l'ingénieur suisse peut exercer sur la construction du moteur Otto ou du moteur Diesel (notre pays ne possède pas d'industrie automobile propre), est pratiquement insignifiante.



Cette nuisance a été supprimée en équipant l'usine d'un filtre épurateur
(Photo R. Morin)

La situation des installations fixes

Revenons-en aux installations de production industrielle. Sur le long chemin à parcourir pour les rendre propres — cette expression doit être comprise du point de vue de la pollution atmosphérique — les progrès réalisés dans notre pays sont dus pour l'essentiel aux forces novatrices suivantes:

- aux travaux du Parlement, relayant la volonté de larges couches de la population;
- suite à ceux-ci, à la légalisation et surtout aux arrêtés d'exécution s'y rattachant;
- à la mise en vigueur correspondante de ces mesures et à leur contrôle rigoureux;
- à la mise au point de solutions techniques proprement dites pour lutter contre la pollution atmosphérique, et donc au travail des hommes de science et des ingénieurs;
- enfin, aux dirigeants et conseils d'administration des entreprises, qui acceptent

comme nécessaires les dépenses d'investissement requises pour la construction des installations d'épuration.

Nous devons donc ainsi reconnaître que cette fois encore — comme cela s'est toujours produit au cours des siècles — l'homme peut vaincre la difficulté, et que les graves et difficiles problèmes techniques actuels peuvent également être résolus, mais que, pour cela, il faut avant tout que la collectivité le veuille et que, par conséquent, elle accepte de s'engager financièrement, de faire « le sacrifice ».

Les résultats obtenus en Suisse sont également remarquables et prometteurs parce que le mûrissement des mentalités permet de prendre aujourd'hui des mesures qui ne porteront leurs effets que demain, mais à propos desquelles on s'est rendu compte à temps que seule une vision à long terme pouvait mener au but.

L'ingénieur, le directeur, le conseil d'administration

On peut considérer une loi comme un ordre contraignant, et au minimum comme une indication obligatoire. Mais l'expérience nous apprend que les ordres et les indications ne règlent pas tout, tant s'en faut. Pour que les lois portent leurs effets — et vite — la conviction, la volonté et la force des organes d'exécution sont nécessaires. Et à cet égard il faut constater que l'ingénieur d'aujourd'hui connaît sa responsabilité, qu'il a une vision globale des rapports et qu'il est disposé à imposer des solutions. La volonté existe! La science et la technique nous permettent d'ajouter: la possibilité existe également!

La tâche du directeur est déjà plus difficile. En effet, elle ne se situe pas seulement sur le plan technique. La responsabilité du directeur touche à la dimension économique. Il doit avant tout assurer la rentabilité et la solidité de l'entreprise. Mais comme les installations, par exemple d'épuration des gaz d'échappement, sont coûteuses et que l'élévation des normes se traduit par une augmentation disproportionnée de leur coût, ces investissements obligent par la force des choses à s'interroger sur la charge qu'ils représentent. Jusqu'à quel point peut-on augmenter le prix de revient d'un produit? A quel moment son prix le rendra-t-il invendable? Que faire si la concurrence étrangère, réduisant au minimum ses investissements pour la sauvegarde du milieu, produit nettement meilleur marché?

En tant qu'organe responsable supérieur venant immédiatement après le directeur, c'est au conseil d'administration de l'entreprise industrielle que revient à notre époque la noble tâche de garantir la prise en compte des facteurs écologiques dans le cadre de la fixation globale des objectifs, c'est-à-dire du développement et de la sauvegarde à moyen et à long terme de l'entreprise. C'est lui qui, avant tout, doit considérer la protection du milieu comme partie intégrante de la philosophie de l'entreprise.

Loi - arrêté - mise en vigueur - contrôle

Le chemin allant de la reconnaissance d'une nécessité, à la loi contraignante, est long. Ardue également est la voie vers les prescriptions brièvement évoquées ci-après, à l'aide d'exemples.

Les substances polluantes en suspension dans l'atmosphère se déplacent «au-delà des frontières». Leur cheminement n'a jamais jusqu'ici fait l'objet de recherches aussi approfondies. Il est établi que les zones de danger ne coïncident pas avec les zones de production. Ce fait illustre plus que tout autre la nécessité d'une coordina-

tion au niveau juridique précisément sur le territoire européen. Evidemment, il faudra d'abord que les divers pays adoptent des armes juridiques mûrement réfléchies. Et en outre, il faudra aboutir à un accord tenant compte des répercussions au-delà des frontières, à un objectif solidaire associé à des mesures limitatives similaires.

En ce qui concerne plus particulièrement la situation de la Suisse, on peut dire que l'objectif intermédiaire des limitations préventives des émissions polluantes, vigoureusement poursuivi par le biais de réglementations contraignantes, semble à présent en vue. Il ne faut toutefois pas oublier que les mesures nécessaires, s'agissant d'un cadre aussi vaste que la protection de l'environnement, le resteront encore longtemps, et cela d'autant plus que les rapports entre les divers éléments se révèlent aujourd'hui encore plus complexes qu'on ne le pensait auparavant. Il faut se rendre compte non seulement de l'ampleur des problèmes, des difficultés techniques, de l'argent et du temps à y consacrer, mais surtout également du fait que l'on s'est attelé tardivement, trop tardivement, à la limitation des émissions polluantes. Avant 1970 en effet, il ne s'est presque rien passé en Europe. Par la suite, les autorités ont commencé à agir avec des degrés de conviction divers, en traçant des orientations générales.

Apparurent ensuite les premières réglementations et aujourd'hui, le cercle des prescriptions juridiques se refermant, l'on peut dire que leur influence est globale.

Voici, à titre d'illustration, quelques extraits de la réglementation en vigueur en Suisse. Sont notamment exigés, en ce qui concerne les émissions (la cause de la pollution):

- des limitations préventives des émissions dans les nouvelles installations fixes;
 - des limitations préventives des émissions dans les installations fixes existantes;
 - des limitations plus rigoureuses des émissions dans les nouvelles installations;
 - le contrôle des fours et l'examen des types;
 - la vérification des combustibles et des carburants;
 - le contrôle et la surveillance;
- et, dans le domaine des effets;
- les régions touchées;
 - la nature du dépôt;
 - les mesures à prendre dans les régions touchées;
 - des recommandations sont formulées concernant les installations, les combustibles et les carburants et des valeurs seuils définies.

Au niveau législatif, sont ainsi fixés obligatoirement: le but, la stratégie, et les instruments qui doivent permettre «de prendre les mesures nécessaires pour, en sauvegardant la propreté de l'atmosphère, protéger les hommes, les animaux et les plan-



tes, leurs communautés et territoires, ainsi que le sol, contre les pollutions atmosphériques nuisibles ou gênantes». On choisit ainsi — mesure sage — de franchir d'abord une première étape après laquelle une deuxième étape sera imposée si la première ne suffit pas. Le contrôle (surveillance) permanent sera contraignant.

Etant donné que l'état de la technique et la dynamique de l'évolution entraînent, comme l'expérience l'a montré, la nécessité de traiter différemment les installations anciennes et les nouvelles, il y aura lieu également de prévoir des délais d'assainissement différenciés pour les premières.

La réalité

Pour connaître de quelle manière s'effectue la mise en vigueur des lois et des règlements, il est bon d'examiner les budgets annuels de quelques entreprises et d'en analyser la structure.

Dans la rubrique «investissements», sont inscrites — dans le cas présent — toutes les dépenses jugées indispensables pour 1986 dans l'intérêt de la production, c'est-à-dire des bâtiments, des installations de production et de protection de l'environnement. Inutile de dire que de tels budgets ont dû passer, des mois auparavant, à travers le filet serré du contrôle des priorités et des urgences. Dans l'établissement de ces calculs prévisionnels annuels, le poste «préservation de l'environnement» a sa place fixe, notamment dans les entreprises métallurgiques, et il est également traité conformément à son importance:

— sont visés non seulement les unités de production proprement dites, mais également les ateliers annexes et les laboratoires;

— les budgets sont divisés en investissements en faveur d'installations nouvelles d'une part ou qui doivent servir à améliorer et à entretenir les installations existantes de l'autre. Ce dernier point est d'autant plus important, compte tenu notamment de l'épuration de l'air, que les solutions techniques offertes aujourd'hui sont beaucoup plus avancées qu'il y a quelques années, et que leur efficacité et leur sécurité en sont donc considérablement augmentées;

— les divers postes du budget concernent, par ailleurs, à côté de l'épuration de l'air, la protection des eaux, la lutte contre le bruit et les transports internes;

— un coup d'œil sur les chiffres montre que, dans les usines métallurgiques modernes, qui souvent anticipent les normes, la protection de l'environnement est assurée par le biais d'un programme de sécurité qui absorbe de 8 à 12 % du budget total des investissements;

— il est peut-être également intéressant de mentionner que, sur la consommation énergétique annuelle de ces usines, de 6 à 9 % sont imputables au seul fonctionnement des installations de protection de l'environnement et d'épuration;

— d'après une enquête du CAEF (Comité des associations européennes de fonderie), les entreprises de la République fédérale d'Allemagne, de Finlande, de France, des Pays-Bas, d'Autriche et de Suisse consommeraient de 50 à 270 kW/h par tonne de produit fini pour le seul fonctionnement des installations de protection de l'environnement; on sera frappé, non seulement par l'importance des chiffres, mais également par la réduction du taux de dispersion des substances émises.

Que veut atteindre le législateur — en résumé — dans le laps de temps qui lui est imparti? Devront être réduits d'une manière décisive et ramenés au-dessous du niveau dangereux, surtout:

- le monoxyde de carbone (CO);
- l'oxyde de soufre (SO_x);
- l'oxyde d'azote (NO_x);
- les émissions de fumées et
- les cendres.

On se rend compte de l'ampleur de la tâche lorsque l'on considère que, sur la seule année 1983, quarante millions de tonnes de dioxyde de soufre (SO₂) ont été répandues sur l'Europe.

Tant sur le plan technique que sur celui des investissements, l'avenir peut donc être, d'une manière générale, envisagé avec un certain optimisme, et cela d'autant plus que l'accroissement des dépenses en faveur de

la protection de l'environnement s'accompagne de nouveaux progrès importants sur le plan technologique et sur celui de la gestion des entreprises.

Chances et dangers

La principale caractéristique des mesures de protection de l'environnement dans le domaine industriel est que, nulle part dans le monde, elles ne pourront, dans le courant de ce siècle, viser davantage qu'à redresser un état de fait préoccupant. Les années à venir devront encore avant tout être consacrées à la réduction des dégagements nocifs, dans tous les domaines, conformément à certaines normes. Ce n'est qu'ultérieurement que l'on pourra penser à stabiliser une fois pour toutes une situation devenue alors satisfaisante.

Vouloir déduire de cette situation que les entreprises font trop peu, investissent trop peu, serait nier la réalité. En Suisse précisément, les dispositions législatives, et les dépenses correspondantes sont à ce point impressionnantes que le succès, c'est-à-dire la réalisation des buts fixés, ne peut faire aucun doute. La tâche a acquis un caractère général pour la raison essentielle qu'il est impossible de corriger en quelques années des décennies de négligence. Le but n'est pas contesté: la fixation de normes limites contraignantes pour toutes les exploitations — et donc une autorité suffisante de la part des responsables des entreprises!

A côté de ces aspects prometteurs, il ne faut toutefois pas négliger certains dangers qui dépassent de loin les problèmes des installations ou entreprises individuelles; il ne sert en effet à rien, ou presque, d'équiper une installation de systèmes d'épuration de l'air, aussi perfectionnés soient-ils, si l'atmosphère est polluée par des substances provenant d'autres installations ou de l'étranger. Il s'agit donc d'assurer à l'échelon européen également la coordination indispensable des efforts et des obligations.

Il se dégage ainsi, dans une perspective globale, une image qui ne pourrait être plus claire: étant donné tout le chemin restant à parcourir pour sauver notre atmosphère, et connaissant la difficulté de l'adoption de mesures identiques au-delà des frontières nationales, l'importance de la coordination de l'Europe restera décisive. ■

Exemple de coopération

Robert J. Downing

Situés sur le même continent, les Etats-Unis et le Canada ont une frontière commune de près de 9.000 km. Les nombreuses relations économiques, politiques et culturelles entre les deux pays ainsi que leur proximité géographique favorisent une coordination étroite dans bien des domaines.

Les deux pays coopèrent depuis fort longtemps en ce qui concerne les questions environnementales d'intérêt mutuel.

Un des premiers efforts notable en vue de résoudre les problèmes de pollution transfrontalière des eaux a été la signature en 1909 du traité sur les eaux limitrophes entre les deux pays, afin de régler les différends concernant leur frontière commune. Plus récemment, les deux gouvernements ont travaillé de concert à la solution des questions de pollution aérienne transfrontalière. A la suite de la signature en 1978 de l'accord sur la qualité des eaux des Grands Lacs, le groupe de consultation bilatéral sur le transport à grande distance des polluants atmosphériques a été créé pour coordonner et évaluer les efforts de recherche en cours. Cet effort initial a été suivi par un programme commun, instauré en application du mémorandum d'intention Etats-Unis/Canada sur la pollution atmosphérique transfrontalière à grande distance.

Plusieurs groupes bilatéraux de travail technique ont été convoqués afin d'élaborer d'un commun accord, une base d'information scientifique pour la négociation des réductions futures d'émissions de polluants atmosphériques. Ces groupes de travail sur les tendances des émissions, la chimie atmosphérique, les impacts écologiques et les stratégies de lutte ont publié des rapports sur l'état des connaissances scientifiques en 1982 et 1983.

Efforts en vue de produire des informations scientifiques

Tant les Etats-Unis que le Canada déploient d'énergiques efforts de recherche sur le phénomène des pluies acides. Les Etats-Unis ont le plus important programme de recherche du monde sur les dépôts acides.

Le programme national d'évaluation des précipitations acides (NAPAP) a été instauré par le Congrès en 1980 afin de produire l'information scientifique nécessaire à une prise de décision en connaissance de cause. La portée géographique de l'effort de recherche s'est élargie, les résultats préliminaires ayant indiqué qu'il y a des risques d'acidification des ressources dans de vastes régions du pays.

La recherche est désormais centrée non seulement sur les effets du soufre, connu pour causer des dommages aux ressources aquatiques sensibles, mais aussi sur le rôle possible des oxydes d'azote et des oxydants tels que l'ozone qui peuvent être des éléments clés dans la dégradation des forêts enregistrée dans toute l'Europe et dans certaines forêts de haute altitude de l'Est des Etats-Unis.

Le projet de budget 1986, d'un montant de 81 millions de dollars US, comporte des initiatives majeures en vue d'enquêtes nationales sur l'état des eaux de surface et des forêts, des études de simulation atmosphérique pour aider à déterminer les sources et les zones finales de réception des dépôts sulfuriques et un vaste programme pilote pour mesurer les dépôts secs qui, estime-t-on, provoquent jusqu'à la moitié de tous les dépôts acides aux Etats-Unis.

Le programme de recherche canadien sur le transport à longue distance de la pollution atmosphérique (LRTAP) a débuté vers la fin des années 70. Le Gouvernement fédéral et les provinces ont mis au point un programme intégré qui couvre quatre grands domaines d'études: les sciences atmosphériques, les effets terrestres, les effets aquatiques et l'assurance de la qualité. Le budget 1985 pour le programme de recherche s'élève à 30 millions de dollars canadiens, financé à 60 % environ par le Gouvernement fédéral, le reste étant à la charge des différentes provinces.

La nature pluridisciplinaire de ces deux programmes dynamiques et la vaste portée géographique du phénomène des dépôts acides entraînent évidemment de nombreux efforts de coopération entre le Canada et les Etats-Unis à toutes les phases des activités de recherche. Un groupe de directeurs de recherche des deux programmes nationaux se rencontrent annuellement pour étudier et évaluer la coopération scientifique en cours et proposer de nouveaux domaines d'intérêt mutuel en vue d'efforts communs élargis. Ces efforts bilatéraux vont des phases de planification et de conception à la conduite d'expériences communes en laboratoire ou sur le terrain, jusqu'aux activités ultérieures d'assurance de la qualité et d'analyse des données.

De nombreux domaines de recherche

Ce processus de coopération scientifique couvre de nombreux domaines différents de recherche, y compris les études suivantes:

— Les émissions de soufre et d'azote :

Les chercheurs canadiens et américains travaillent ensemble à la mise au point et à l'analyse d'inventaires complets des niveaux passés et présents d'émissions de plusieurs polluants atmosphériques. Ces renseignements détaillés sont nécessaires pour évaluer les tendances des émissions et servent à la mise au point de modèles mathématiques des processus impliqués dans le phénomène des dépôts acides.

— Les processus atmosphériques :

Les Etats-Unis et le Canada ont financé conjointement l'expérience de traçage trans-appalaches (CAPTEX) en vue d'étudier ce qu'il advient des produits chimiques dans l'atmosphère sur de longues distances (jusqu'à 1.000 km). Pour une série d'expériences un gaz inerte a été émis à plusieurs endroits dans le centre-ouest des

Etats-Unis et le sud de l'Ontario et a été suivi, afin d'analyser ses mouvements et sa dispersion. Les données résultant de cette expérience sur le terrain aideront à évaluer la précision des modèles atmosphériques actuels.

Des scientifiques des deux pays se réunissent également plusieurs fois par an pour planifier les efforts de coopération dans la mise au point et l'évaluation du modèle américain de dépôts acides régionaux (RADM) et le modèle canadien/allemand de dépôts acides d'oxydants (ADOM). Les plans actuels exigent un effort de coopération d'une durée de 3 à 5 ans pour établir un protocole d'évaluation type, de concevoir et mettre au point un programme d'études d'une durée d'un an, sur le terrain, afin d'établir une vaste base de données, d'analyser et d'interpréter ces données et d'évaluer les résultats des modèles.

— La surveillance des dépôts :

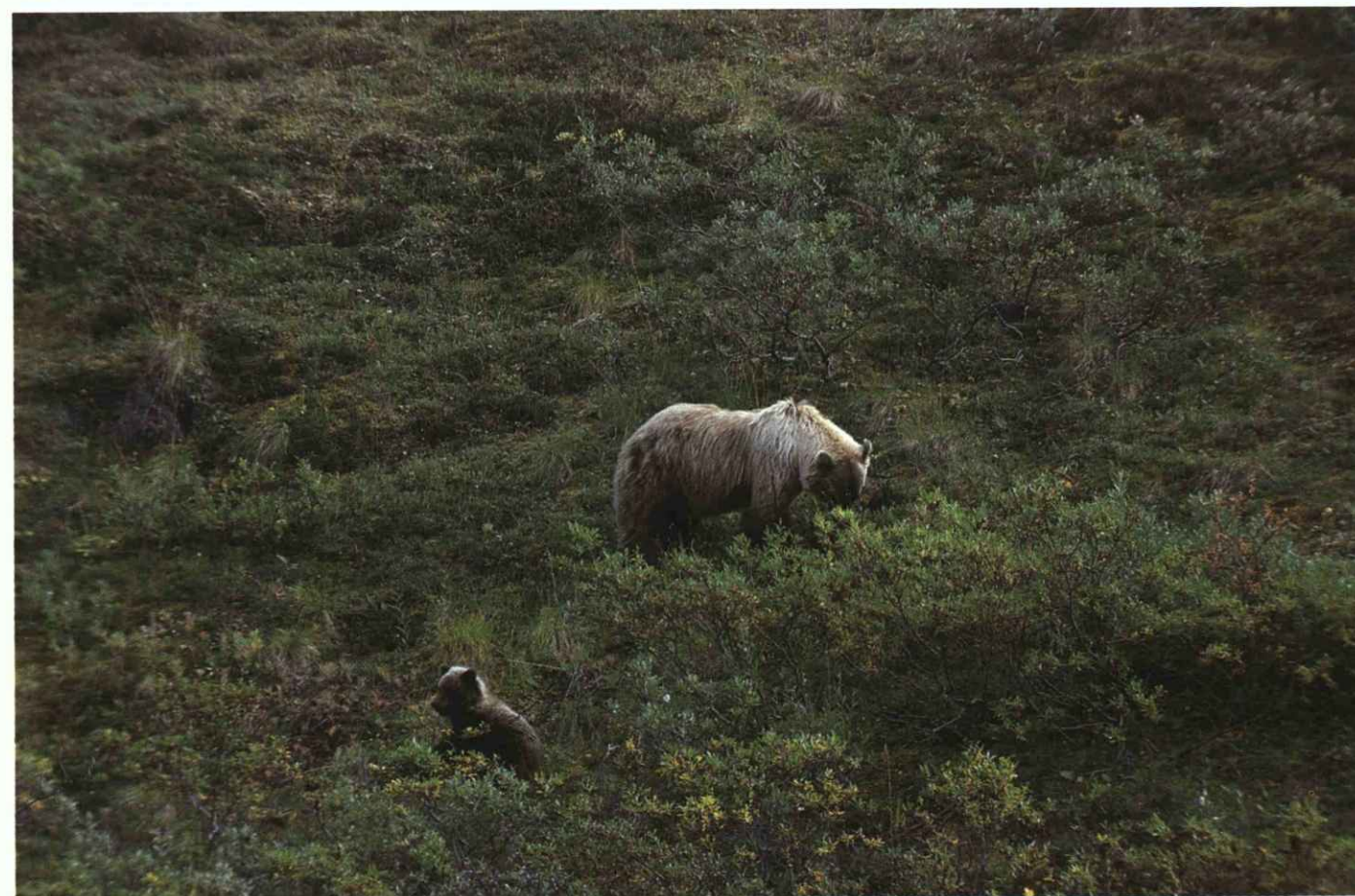
Les deux réseaux nationaux de surveillance des dépôts humides, le programme national américain sur les dépôts atmosphériques (NADP) et le réseau canadien d'observation des précipitations (CaP-MoN), ont récemment achevé un pro-

gramme de deux ans de comparaisons côte à côte des méthodes pour recueillir et analyser les dépôts de chaque pays en six endroits près de la frontière Etats-Unis/Canada. La science de la mesure uniforme et fiable des dépôts secs d'acides et de leurs précurseurs est encore à ses balbutiements. Les efforts de coopération nord-américaine dans ce domaine, englobent l'échange de matériel d'observation des dépôts secs et les comparaisons des méthodes de mesure, pour assurer la compatibilité des données produites dans chaque pays.

— Les effets :

Les études des effets des dépôts acides sur les ressources aquatiques et terrestres font l'objet de nombreuses discussions et d'une vaste coopération sur le plan officiel et officieux. Cette interaction se présente souvent sous la forme de consultations lors de la conception de nouveaux projets, d'examen à même niveau des programmes existants, de prêt de personnel et de matériel et d'échange de données recueillies. Les Etats-Unis ont créé un site d'exposition au Canada pour tester les effets des dépôts acides sur une variété de matériaux.

Préserver la vie sauvage en coordonnant des programmes de recherche (Grizzlis)
(Photo G. Lacoumette)



Alors que les communautés scientifiques des deux pays entretiennent d'étroites relations de travail, les deux gouvernements continuent à être en désaccord sur l'urgence de la mise en œuvre de réductions supplémentaires des émissions de soufre et d'azote. En mars 1985, le Gouvernement canadien a annoncé la mise en œuvre d'un programme destiné à réduire les émissions de ces polluants atmosphériques d'environ 50 % au cours des 9 prochaines années. Le plan comporte une aide financière gouvernementale à l'industrie lourde, notamment à la métallurgie, pour couvrir les frais d'une lutte accrue contre la pollution, d'un renforcement des normes relatives aux émissions automobiles et toute une série d'autres mesures. La position américaine actuelle est que l'on ne connaît pas assez les processus qui régissent le phénomène de l'acidification pour justifier que de nouvelles mesures de lutte contre l'émission d'anhydride sulfureux et d'oxyde d'azote soient justifiées pour le moment.

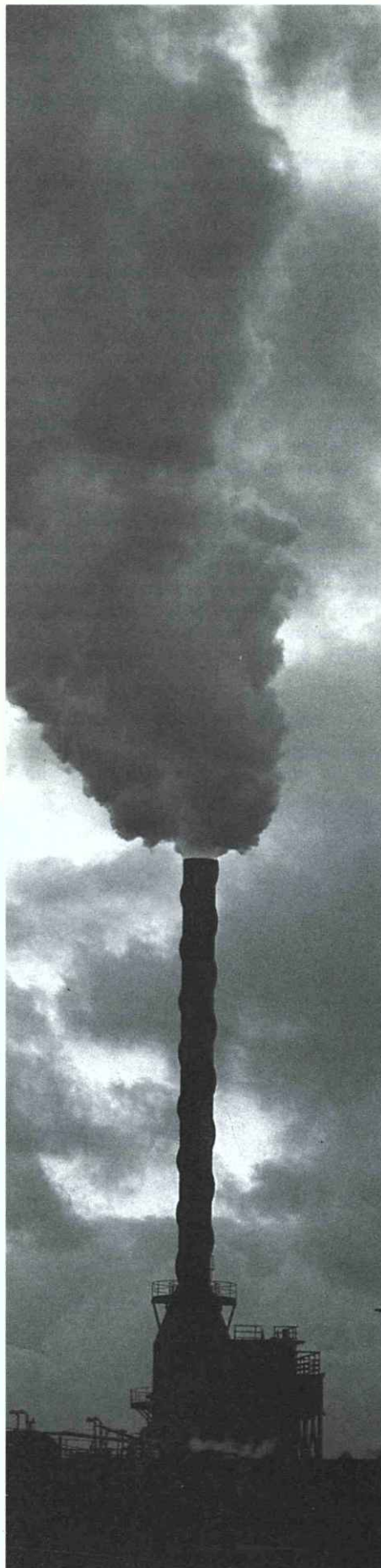
Vers un consensus ?

Une certaine évolution vers un consensus sur les politiques nationales face au problème de l'acidification a été réalisée au printemps 1985 avec la désignation, par le Premier Ministre M. Mulroney et le Président Reagan, d'envoyés spéciaux sur la question des pluies acides. L'envoyé américain, Drew Lewis, était auparavant ministre des transports dans l'administration Reagan, tandis que son homologue canadien, William Davis, est un ancien Premier Ministre de l'Ontario. En vertu de leur mandat, ces deux ambassadeurs de haut niveau sont notamment chargés :

- de poursuivre des consultations sur les lois et les règlements qui portent sur les polluants que l'on pense liés aux pluies acides ;
- d'intensifier la coopération dans le domaine de la recherche, notamment en vue d'une technologie des combustibles propres et du contrôle des fonderies ;
- de trouver les moyens d'intensifier l'échange d'informations scientifiques ;
- de déterminer l'action à déployer pour améliorer l'environnement américain et canadien.

MM. Lewis et Davis rencontrent actuellement des scientifiques, des groupes écologiques, des représentants de l'industrie et une foule d'autres personnes s'occupant du problème des pluies acides afin d'étudier et d'évaluer la situation actuelle. Les deux envoyés doivent rendre compte directement aux dirigeants des deux pays, au début de l'année 1986, de leurs conclusions et recommandations en la matière. ■

(Photo C. Heimburger)



Auteurs des articles du présent numéro :

M. Robert Krieps
Ministre de l'Environnement
16, boulevard Royal
L-Luxembourg

M. Guy Landmann
Ingénieur du Génie Rural,
des Eaux et Forêts (I.G.R.E.F.)
Centre National de Recherches Forestières
Institut National de Recherche Agronomique
Champenois
F-54280 Seichamps

Swedish Ministry of Agriculture
National Swedish Environment
Protection Board
Information Section
Box 1302
S-171 25 Solna

M. Louis Jung
Président de la Commission
de l'Aménagement du territoire
et des pouvoirs locaux de l'Assemblée
parlementaire du Conseil de l'Europe
B.P. 431 R6
F-67006 Strasbourg Cedex

M. Erwin Lauterwasser
Forstpräsident
Forstdirektion Freiburg
Bertholdstrasse 43
D-7800 Freiburg im Breisgau

Prof. Dr. Dres. h.c. Hans Mohr
Albert-Ludwigs Universität
Institut für Biologie II/Botanik
Schänzlestrasse 1
D-7800 Freiburg im Breisgau

Drs Jacob Swager
Air Quality Division
Ministry of Housing, Physical Planning
and Environment
Postbus 450
NL-2260 MB Leidschendam

M. Giorgio Torraca
Deputy Director
ICCRIM
13, via di San Michele
I-00153 Roma

Dr. h.c. ETH Max Steiner
General Direktor i.R.
Heuelstrasse 26
CH-8032 Zürich

Mr. Robert J. Downing
Program Coordination Office
U.S. National Acid Precipitation
Assessment Program
722 Jackson Place, NW
Washington, DC 20506
USA

Agences nationales du Centre

AUTRICHE
Univ.-Prof. Dr. Franz WOLKINGER
Österreichische Akademie
der Wissenschaften
Institut für Umweltwissen-
schaften und Naturschutz
Heinrichstraße 5/III
A-8010 GRAZ

BELGIQUE
M. Jean RENAULT
Ministère de l'Agriculture
Administration
de la Recherche Agronomique
Manhattan Center 7^e étage
Avenue du Boulevard 21
B-1210 BRUXELLES

CHYPRE
Nature Conservation Service
Ministry of Agriculture and
Natural Resources
Forest Department
CY-NICOSIA

DANEMARK
Miss Lotte BARFOD
National Agency for the
Protection of Nature,
Monuments and Sites
Ministry of the Environment
13 Amaliegade
DK-1256 COPENHAGEN K

FRANCE
M^{lle} Isabelle RAYNAUD
Direction de la Protection
de la Nature
Ministère de l'Environnement
14, boulevard du Général-Leclerc
F-92524 NEUILLY-SUR-SEINE
CEDEX

**RÉPUBLIQUE
FÉDÉRALE D'ALLEMAGNE**
Deutscher Naturschutzring e.V.
Bundesverband für Umweltschutz
Kalkuhstraße 24
Postfach 32 02 10
D-5300 BONN-OBERKASSEL 3

GRÈCE
M. Byron ANTIPAS
Secrétaire général
Société hellénique pour la
protection de la nature
24, rue Nikis
GR-10557 ATHENES

ISLANDE
Mr Gisli GISLASON
Director
Nature Conservation Council
Hverfisgötu 26
ISL - 101 REYKJAVIK

IRLANDE
Mr John McLOUGHLIN
Department of Fisheries and Forestry
Forest & Wildlife Service
Leeson Lane
IRL - DUBLIN 2

ITALIE
Dr ssa Elena MAMMONE
Ministero dell' Agricoltura
Ufficio delle Relazioni internazionali
18, via XX Settembre
I - 00187 ROMA

LIECHTENSTEIN
Ing. Mario F. BROGGI
Liecht, Gesellschaft
für Umweltschutz
Heiligkreuz 52
FL - 9490 VADUZ

LUXEMBOURG
M. Charles ZIMMER
Ingénieur principal
des Eaux et Forêts
Ministère de l'Environnement
5A rue de Prague
L-LUXEMBOURG-VILLE

MALTE
Mr Joe SULTANA
Environment Division
Department of Health
Merchants Street
M - VALLETA

PAYS-BAS
Mr D. A. HUITZING
Directorate for Nature Conservation
Environmental Protection
and Wildlife Management
Postbus 20401
NL-2500 EK THE HAGUE

NORVÈGE
Mrs Irene SIGUENZA
Ministry of the Environment
Myntgaten 2
P.O. Box 8013
N - 0030 OSLO

PORTUGAL
Prof. Luis SALDANHA
Liga para a Protecção da Natureza
Estrada do Calhariz de Benfica, No. 187
P - 1500 LISBOA

ESPAGNE
M^{me} M. del CARMEN de ANDRÉS CONDE
Dirección General de Medio Ambiente
Ministerio de Obras Públicas y
Urbanismo
Paseo de la Castellana nº 67
E - 28071 MADRID

SUÈDE
Mr. Ingvar BINGMAN
National Swedish Environment
Protection Board
P.O. Box 1302
S - 171 25 SOLNA

SUISSE
Dr Jürg ROHNER
Ligue Suisse
pour la Protection de la Nature
Wartenbergstraße 22
Case postale 73
CH - 4020 BÂLE

TURQUIE
Mr Hasan ASMAZ
President of the Turkish Association
for the Conservation of Nature
and Natural Resources
Menekse sokak 29/4
Kizilay
TR-ANKARA

ROYAUME-UNI
Miss Shirley PENNY
Chief Librarian
Nature Conservancy Council
Great Britain Headquarters
Northminster House
Northminster Road
GB - PETERBOROUGH PE1 1UA

(Photo R. Morin)



Tout renseignement concernant Naturopa, le Centre européen d'information pour la conservation de la nature ou le Conseil de l'Europe peut être fourni sur demande adressée au Centre ou aux Agences nationales respectives dont la liste figure ci-dessus

