

# Trop d'azote, d'acide et d'ozone : les immissions polluantes dépassent le seuil critique

Richard VOLZ, Hansjakob BAUMGARTNER  
(Extrait du Bulletin Environnement de l'OFEFP, avril 1996)

Cela ne fait plus la une des journaux, mais les faits sont têtus : la pollution atmosphérique est toujours trop élevée pour que les arbres soient en bon état. Un programme de recherche lancé par l'OFEFP a révélé de nouveaux éléments sur l'influence des polluants atmosphériques sur les forêts. Les principaux facteurs de stress – comme l'acidification et l'eutrophisation des sols, l'ozone qui attaque le feuillage – sont cumulés à tel point que la limite du tolérable est dépassée.

Depuis le milieu des années 80, la proportion des arbres avec des houppiers dégarnis a pratiquement doublé dans la forêt suisse : 10 % des arbres présentaient une perte de feuilles ou d'aiguilles supérieures à 25 % en 1986, contre pratiquement 20 % aujourd'hui.

L'apparition de nouveaux symptômes de maladie avait conduit au début des années quatre-vingt à lancer d'importantes recherches sur les causes du dépérissement.

On sait désormais quels sont les facteurs nuisibles. Mais la complexité déroutante de l'écosystème forestier et l'évolution sournoise du mal ont compliqué l'analyse des symptômes et des rapports de causes à effets. Dans ces conditions, il est délicat d'estimer la part de telle modification d'un facteur environnemental ou de déterminer l'impact réel de chaque dégât.

## Appréhender l'écosystème forestier dans son intégralité

Dans le cadre des mesures d'appoint du programme d'inventaires forestiers, l'OFEFP a lancé une série de projets pilote. Il s'agissait d'améliorer les méthodes de relevé et d'analyse, d'unifier l'interprétation des résultats de l'inventaire Sanasilva des dégâts aux forêts, tout en approfondissant les connaissances sur les effets des polluants atmosphériques sur les arbres et le sol. Les principaux résultats ont été présentés à l'oc-

casion d'un séminaire intitulé « Nouvelles observations sur les symptômes et les causes des dégâts aux forêts » tenu mi-octobre à l'EPFZ.

L'inventaire des dégâts aux forêts permet essentiellement de mesurer et quantifier par échantillonnage la perte de feuilles et d'aiguilles sur les arbres en forêt. Est-ce un indice assez significatif ? Martin INDERMÜHLE et Brächt WASSER du bureau Impuls de Thoun ont creusé la question dans le rapport de synthèse.

## Des houppiers dégarnis signalent un stress

En se penchant sur les méthodes appliquées en tenant compte de toutes les sources d'erreurs probables, ces chercheurs sont arrivés à la conclusion que la défoliation du houppier était une manifestation tout à fait fiable de l'état sanitaire des forêts. Les résultats de l'inventaire actuel peuvent ainsi être comparés avec les observations faites pendant les années quatre-vingts. Reste à savoir si l'augmentation observée de la chute des feuilles et des aiguilles permet réellement d'en conclure que la forêt est en mauvais état. Une couronne translucide est-elle vraiment un symptôme de stress ?

Un état de stress – soit un écart par rapport à l'état normal provoqué par un quelconque facteur de charge – peut, par exemple, se manifester par un dérèglement au niveau de croissance. De nombreuses études prouvent que l'éclaircissement des houppiers sur les sapins ou les épicéas est lié à une croissance ralentie. Il faut tenir compte du fait que la perte d'aiguilles ou de feuilles est une mesure relative : un grand épicéa avec une couronne très large et des branches qui descendent jusqu'au sol, a, même s'il perd une forte proportion de ses aiguilles, une masse d'aiguilles bien plus importante qu'un arbre de la même espèce et de la même taille qui n'a formé qu'une petite couronne, mais ne perd pas d'aiguilles.

Proportion des arbres avec des pertes de feuilles ou d'aiguilles supérieures à 25 %								
1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
9,6 %	12,5 %	8,7 %	10,4 %	15,5 %	16,1 %	12,8 %	15,4 %	18,2 %

Valeurs calculées selon les procédures européennes, donc plus basses que les données Sanasilva, qui tiennent compte de la taille (emprise au sol) de l'arbre. (Source : CEE/ONU, Bruxelles et Genève, 1996).

Pour les hêtres, on ne peut pas établir de corrélation claire entre la croissance et la perte de feuillage sur la couronne : reste que les pertes de feuilles peuvent être mises en relation avec d'autres indicateurs, comme une régression de l'aubier ou une diminution de la ramification.

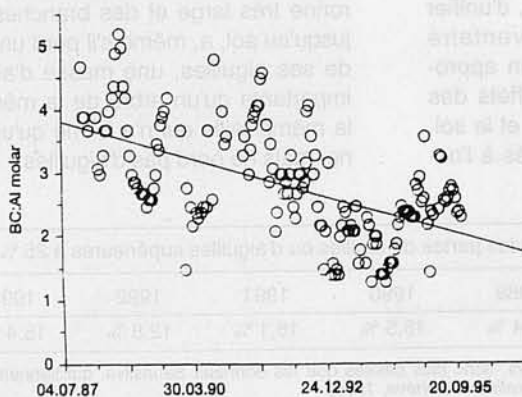
### De nouvelles preuves des dégâts provoqués par les immissions

Sept projets étaient consacrés aux effets de la pollution atmosphérique sur les arbres et les forêts. L'accent était mis principalement sur les charges critiques (critical loads) et leurs relations avec les charges effectivement mesurées. Les charges critiques sont les concentrations ou les dépôts de polluants en dessous desquels, en l'état des connaissances aujourd'hui, on ne constate pas d'atteintes nocives sur des organismes ou des biotopes délicats. Ces travaux visaient à déterminer le mode d'action des trois vecteurs polluants principaux : l'azote, les acides et l'ozone.

Peter BLASER et Martin ZYSSET de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP) ont étudié l'acidification des sols forestiers. Dans les sols acides, on décèle la formation d'aluminium, toxique pour les végétaux. Des mesures effectuées dans une forêt de châtaigniers au Tessin, ont révélé que la teneur en aluminium augmentait depuis une dizaine d'années. Si cette tendance se maintient, on atteindra bientôt des valeurs critiques (voir graphique ci-dessous).

Des expériences sur des plantules de châtaigniers (*castanea sativa*) ont démontré que si la teneur en aluminium libre augmente dans le sol, la masse foliaire diminue tout comme la forma-

Exemple de l'acidification des sols au Tessin. Pour mesurer la toxicité de l'aluminium dans les sols acidifiés, on a relevé le rapport de distribution entre les cations basiques (BC : calcium, magnésium, potassium), et l'aluminium (Al) en mesurant les éléments solubles du sol. Si ce rapport est inférieur à 1, cela indique des conditions potentiellement négatives. Le rapport BC/Al dans les sols tessinois, analysés à une profondeur de 60 cm montre que depuis une dizaine d'années, ce rapport évolue négativement et approche la valeur critique de 1. (Graphique : FNP Birmensdorf).



tion de racelles : deux éléments qui freinent la croissance du jeune plant. L'acidification du sol contribue en outre à l'accélération de la lixiviation de nutriments importants pour les plantes tels le magnésium, le calcium et le potassium.

### L'ozone attaque aussi les forêts

De nombreuses expériences en laboratoire ont prouvé que l'ozone est nocif pour les arbres. Cette substance pénètre par les stomates des feuilles et des aiguilles et nuit à la photosynthèse. Indirectement, elle gêne aussi les fonctions du système racinaire en augmentant la sensibilité de l'arbre lors des périodes de sécheresse.

Cependant, il n'est pas évident de déceler les dégâts dus à l'ozone sur le terrain. D'autres facteurs de stress ont des effets semblables, des dégâts incidents peuvent dissimuler les causes véritables par exemple lorsqu'un arbre, affaibli par la présence d'ozone, est attaqué par des parasites.

Jusqu'à présent, on n'avait pas trouvé d'espèces indigènes présentant sans contestation possible des symptômes visibles de stress induit par l'ozone. Mais les travaux de John L. INNES et John M. SKELLY du FNP effectués dans le cadre du projet « Symptômes dus à l'ozone sur le prunus serotina » ont permis de définir un indicateur biologique potentiel pour les dégâts induits par l'ozone. Dans les forêts tessinoises situées entre Astano et Chiasso, le prunus serotina (merisier d'Amérique) présente des symptômes typiques d'atteintes dues à l'ozone. Notons que ces atteintes ne se retrouvent pas dans les régions plus septentrionales du Tessin. Le peuplement d'arbres atteints couvre un territoire connu pour sa forte pollution d'ozone.

On a pu prouver en laboratoire que les symptômes observés – surface des feuilles ponctuées de tâches – sont causés sans aucun doute par l'ozone : on a placé des plantules de merisier dans des espaces fermés ayant différentes teneurs d'ozone. Si la teneur correspondait à celle que l'on avait mesurée en extérieur, les plantules développaient rapidement les symptômes relevés sur le terrain, alors que les plantules soumises à des concentrations deux fois moins fortes ne subissaient pas de dégâts.

On a ainsi prouvé une fois de plus que la teneur en ozone dépassant la norme, une situation régulièrement atteinte et qui devient parfois un phénomène permanent, est un facteur de stress pour les arbres de la forêt. Autre constatation : la probation d'arbres présentant un houppier dégarni dans les forêts tessinoises présente une corrélation avec la présence locale d'ozone. Une étude épidémiologique conduite par Giorgio MORETTI, Dario RIVOIR et Sergio MARIOTTA (projet : « Epidémiologie de la défoliation du houppier au Tessin ») a démontré ce rapport de cause à effet tout en arrivant à des conclusions

semblables quant à la relation entre l'acidification et la perte des feuilles et des aiguilles.

L'effet de l'ozone sur les plantes n'est pas fonction de pointes dans la teneur d'ozone, mais bien de la présence cumulée de cette substance toxique. Pour le critère « critical level », on totalise les dépassements de certaines valeurs moyennes (dose AOT40). La Commission économique pour l'Europe (CEE/ONU) a fixé une charge polluante critique de 10 ppm par heure en période de végétation. Les mesures fournies par le réseau NABEL ainsi que les simulations effectuées montrent un net dépassement dans les campagnes (voir le graphique ci-dessous).

### Les forêts sont surfertilisées

De plus en plus, on se rend compte que l'apport d'azote est un facteur essentiel du développement des dégâts aux forêts. Les composés azotés qui sont émis par diverses sources dans l'atmosphère finissent par se transformer dans le sol en nutriments pour végétaux. Autrement dit, cela provoque une fumure à grande échelle des sols en Europe centrale. Les sols forestiers sont particulièrement exposés, car les arbres filtrent les composés azotés.

L'apport excessif d'engrais perturbe l'équilibre métabolique de l'arbre. Sabine BRAUN et Walter FLÜCKIGER de l'Institut de biologie végétale appliquée de Schönenbuch (BL) ont analysé l'influence de l'azote sur de jeunes plantules en pots. Des plants de plusieurs espèces ont ainsi été soumis à une surabondance de nutriments (projet : «Conséquences d'apports extraordinaires d'azote sur les écosystèmes forestiers»). La réaction ne s'est pas fait attendre : éclosion hâtive au printemps, ce qui augmente l'exposition des plantes aux gels tardifs. Le résultat des analyses d'aiguilles ou de feuilles est encore plus inquiétant : un déséquilibre nutritionnel significatif est mesuré. Un surplus d'azote est allié à des carences en phosphore, potassium et magnésium.

Autre résultat de cette étude : la croissance des racines et celle de la masse foliaire ne se font plus parallèles. La masse racinaire augmente plus lentement qu'il ne serait nécessaire pour

soutenir un arbre qui croît plus vite. Des mesures sur le régime hydrique des arbres ont démontré que les arbres surfumés sont plus sensibles en période de sécheresse. Les émissions anthropogènes d'azote ont doublé depuis les années 50. Ces dernières années, elles ont légèrement diminué, mais la charge imposée aux forêts dépasse clairement les limites du supportable. Des mesures effectuées sur les branches extérieures du houppier d'épicéas attestent que le dépôt de composés azotés dans le Jura, sur le Plateau et les régions du Nord de la Suisse dépassent la charge critique tolérable de UN/ECE (fixée à 15 à 20 kg par hectare et par an) de plus de 10 kg, le surplus pouvant même atteindre 30 kg dans certaines vallées des Préalpes et des Alpes très fréquentées.

Le programme de recherche s'achève sur une note pessimiste : « Les effets connus des immissions sur les écosystèmes forestiers permettent de conclure qu'il existe un risque accru d'affaiblissement à long terme des arbres et de la forêt. De la sorte, la capacité du système forestier à s'adapter à de nouvelles conditions d'environnement diminue ».

Certes, cela ne rappelle pas le ton alarmiste des années 80, lorsque des scénarios-catastrophes annonçaient le dépérissement à large échelle des forêts protectrices dans les Alpes. Reste que la stabilité des forêts semble toujours menacée et que ce phénomène sournois ne manque pas d'inquiéter. Vu qu'il est difficile à déceler, on risque de ne pas le prendre suffisamment au sérieux. Si on ne réussit pas rapidement à abaisser le taux d'émissions, les forêts ne pourront plus jouer avec autant de constance leur rôle polyvalent de fournisseur de matière première, d'espace de détente, de régulateur hydrologique, de biotope et de protection contre l'érosion et les avalanches.

Pire, elles seront mal préparées pour lutter contre les facteurs de stress à venir : modifications climatiques, vents toujours plus tempétueux, augmentations des rayons UV à cause de la destruction de la couche d'ozone dans la stratosphère. Les problèmes de la forêt pourraient ainsi bien s'aggraver.

Dépassement de la dose critique d'ozone pour les arbres dans différentes stations de mesures suisses (Source : NABEL, pollution de l'air 1995, Cahier de l'environnement n° 267, OFEFP, Berne 1996, p. 59).

