

LE DIAGNOSTIC DES POLLUTIONS ATMOSPHÉRIQUES AIGUËS EN FORÊT

J.P. GARREC

L'augmentation généralisée de l'industrialisation et de l'urbanisation a entraîné une modification de l'atmosphère entourant les forêts. Si nous excluons l'augmentation du niveau de CO₂, ces changements de l'atmosphère se caractérisent avant tout par une augmentation des polluants gazeux, avec pour conséquence des effets directs sur le feuillage.

Afin de contribuer efficacement, aussi bien à la mise en évidence qu'à une éventuelle suppression de ces nuisances, l'étude des effets de ces polluants gazeux nécessite de posséder avant tout une connaissance précise de l'étendue des zones polluées.

L'évaluation de la zone soumise à une pollution atmosphérique au moyen des méthodes physico-chimiques classiques est longue et délicate. En effet, l'obtention de résultats significatifs nécessite des analyses répétées de l'air pendant un laps de temps suffisamment long, et ceci lors de conditions météorologiques aussi diversifiées que possible. Elle requiert également un appareillage multiplié en de nombreux points de prélèvements, et la possibilité de faire fonctionner cet appareillage de façon standardisée.

Pour toutes ces raisons, les méthodes biologiques et en particulier l'utilisation des bio-indicateurs végétaux connaissent en cette matière un succès certain. L'utilisation des bio-indicateurs végétaux pour le diagnostic des pollutions atmosphériques aiguës en forêt repose d'abord sur l'observation des réactions visibles du végétal : sous forme de nécroses, mais également de gaufrages, de chloroses.

DIAGNOSTIC DES POLLUTIONS ET SENSIBILITÉ DES ARBRES

Il faut d'abord remarquer que l'apparition des nécroses dépend de la plus ou moins grande sensibilité du végétal à tel ou tel polluant.

Nous distinguons généralement quatre classes de sensibilités pour les plantes :

— **plantes très sensibles** : ces plantes sont toujours rencontrées nécrosées dans l'ensemble de la zone de pollution considérée ;

- **plantes moyennement sensibles** : ces plantes présentent, dans environ 50 % et plus des cas, des signes de nécroses. Leur développement peut être modifié sous l'effet du polluant ;
- **plantes peu sensibles** : ces plantes présentent, dans seulement 25 % et plus des cas, des signes de nécroses. Leur développement est tout à fait normal dans la zone soumise à la pollution ;
- **plantes résistantes** : ces plantes ne présentent jamais la moindre trace de nécroses ou très rarement.

De plus, pour donner plus de valeur à cette notion de sensibilité, dans chaque classe de sensibilité l'intensité des nécroses est divisée en trois parties : feuille faiblement nécrosée, au moins un quart de la feuille est nécrosé, et au moins la moitié de la feuille est nécrosée.

DIAGNOSTIC DES POLLUTIONS ET OBSERVATIONS DES NÉCROSES CARACTÉRISTIQUES

L'observation des nécroses montre que la plupart du temps, elles sont caractéristiques de tel ou tel polluant.

En ce qui concerne les massifs forestiers, les trois polluants principaux sont le dioxyde de soufre, les composés fluorés et les oxydants photochimiques, avec chacun des symptômes différents.

Description des symptômes

● *Le dioxyde de soufre*

Le dioxyde de soufre provoque essentiellement des nécroses internervaires, de couleur ivoire ou brun clair selon les espèces. Elles apparaissent assez rapidement après le passage de la vague de pollution et elles sont définitives, c'est-à-dire qu'il n'y a jamais d'extension de la partie nécrosée, sauf si une nouvelle dose de SO_2 est appliquée. Elles intéressent généralement les feuilles âgées et l'on a jamais constaté d'effet généralisé.

Les parties vertes restantes reprennent rapidement et intégralement leurs fonctions et manifestent peut-être même une activité accrue temporairement comme pour compenser un retard de végétation ou la perte de surface foliaire.

De nouvelles pousses et de nouvelles feuilles apparaissent normalement, venant masquer en partie les zones nécrosées qui finissent d'ailleurs par tomber, de sorte que les manifestations du passage de SO_2 disparaissent au bout d'un certain temps.

Cependant, après plusieurs défoliations totales au cours de la même saison, on constate néanmoins un certain affaiblissement de l'arbre qui n'a pas un développement comparable à celui du témoin correspondant (De Cormis, 1972).

● *Les composés fluorés*

Les premiers symptômes correspondent à l'apparition de zones d'aspect huileux et flasque. Puis la nécrose se développe, apicale dans le cas des feuilles à nervures parallèles, marginale dans les autres cas. De couleur ivoire, brune ou noire, cette nécrose tend à gagner le centre de la feuille, progressivement, sans respect des nervures. On voit, en outre, une ligne de démarcation souvent très nette, parfois soulignée de brun-rouge, entre le tissu sain et le tissu nécrosé. Les caractères essentiels de l'action du fluor sont une phytotoxicité longue à se manifester et une évolution constante de la zone nécrosée, cette progression étant sans doute liée à des

mécanismes physiologiques. On observe d'ailleurs sur certaines feuilles des zones concentriques sur la partie nécrosée, comme si chaque étape de l'évolution était soulignée par un liseré (De Cormis, 1972).

● *Les oxydants photochimiques : P.A.N. (nitrate de peroxyacétyl) et ozone*

Les symptômes caractéristiques du P.A.N. sont l'apparition d'un reflet argenté, bronzé ou métallique, typiquement limité à la surface des feuilles. L'aspect argenté est attribué à la déshydratation et à la plasmolyse des cellules affectées du mésophylle et au remplissage d'air de l'espace résultant.

Par contraste avec l'action du P.A.N., la phytotoxicité de l'ozone se traduit par des taches ponctiformes ou par une chlorose affectant typiquement la surface supérieure des feuilles.

De nombreuses études ont montré que les premiers tissus atteints par l'ozone sont le parenchyme palissadique de la face supérieure des feuilles, et ce sont les chloroplastes qui sont affectés dans ces cellules palissadiques. Ces petites taches, ces points blancs ou marrons régulièrement répartis, correspondent à une décoloration ou à un brunissement de l'extrémité supérieure des cellules du parenchyme palissadique sans que l'épiderme supérieur soit lui-même affecté (De Cormis, 1972).

REMARQUES SUR LE DIAGNOSTIC DE LA POLLUTION

Dans le cadre du diagnostic de la pollution aiguë en forêt, l'étude des différences de sensibilité à tel ou tel polluant des diverses espèces d'arbres, ont fait l'objet de nombreuses recherches. D'une part des expériences de fumigation ont été effectuées, d'autre part des observations sur le terrain ont été effectuées sur des arbres aux feuilles annuelles ou pérennes, appartenant à des espèces tant autochtones qu'exotiques.

De nombreuses listes de sensibilité des arbres ont été publiées. Les listes de sensibilité, réalisées à partir de fumigations expérimentales en laboratoires, indiquent la sensibilité relative des différents arbres dans des conditions d'environnement identiques. Malheureusement, ces conditions réalisées en laboratoire sont différentes de celles rencontrées dans la nature, et sont à l'origine des différences de sensibilité rencontrées, lorsque l'on compare ces résultats avec les observations dans un contexte naturel.

À partir d'observations sur le terrain, les listes de sensibilité établies fournissent des renseignements qui dépendent de l'arbre, mais aussi dans ce cas, des conditions environnantes pendant lesquelles les observations ont été faites. Ces conditions sont complexes et difficiles à préciser et la lumière, la température, l'humidité, la composition du sol, n'influencent pas, de la même manière, la réponse des différentes espèces à un polluant. Une espèce trouvée extrêmement sensible à un polluant dans un environnement donné, peut être trouvée moins sensible lorsqu'elle pousse dans un autre site où l'humidité, ou d'autres facteurs, peuvent être différents (état physiologique, taux de pollution).

De même, si dans le domaine de l'observation, les effets des différents polluants sur le feuillage des arbres sont bien connus, il faut cependant signaler que des difficultés apparaissent lors de son utilisation pratique dans le cadre d'un diagnostic. Ces difficultés proviennent des confusions que peut faire un observateur non averti, entre les nécroses spécifiques d'un polluant donné et les effets physiologiques de même aspect dus à des facteurs physiques (gelée tardive, sécheresse prolongée) ou des facteurs biologiques (maladies cryptogamiques, attaques d'insectes).

En dépit de ces restrictions sur la fiabilité de cette méthode, contrebalancée d'ailleurs par la facilité d'effectuer un grand nombre d'observations, le diagnostic des pollutions atmosphériques

au moyen de l'observation du feuillage (arbres pris comme bio-indicateurs) reste une méthode très intéressante par sa rapidité, sa simplicité, sa disponibilité permanente, son faible coût (absence d'installation coûteuse) et surtout par le fait de pouvoir fournir des résultats partiellement intégrés sur une période donnée.

D'autre part, rien ne s'oppose à l'établissement d'une échelle comparative, entre les indications visibles et les résultats d'analyses foliaires lorsque cela est possible, ceci pour confirmer la validité de la méthode d'observation botanique (reproductibilité et corrélation nécroses-concentrations des polluants). Il ne faut pas oublier que la méthode biologique ne peut jamais se substituer aux méthodes chimiques ; mais elle constitue un outil de travail pratique.

Il est bien entendu qu'il ne s'agit dans cette méthode de diagnostic que d'une observation de nature écologique. En conséquence, le niveau de pollution de l'air n'est pas le seul facteur mis en jeu. Aussi doit-on attribuer au phénomène observé seulement une valeur de mesure relative. Il représente pour chaque région le degré de nocivité du polluant dans le contexte local, sans indications précises sur sa concentration réelle dans l'air. Telle zone soumise à un courant d'air recevra plus de polluant qu'une zone calme, même si l'air n'en contient pas plus. Cette notion est caractéristique des indicateurs biologiques.

Si nous avons parlé pour le diagnostic des pollutions en forêt, uniquement de l'observation des nécroses caractéristiques sur le feuillage, car nous pensons que cette méthode présente le plus d'avantages, il faut savoir que d'autres méthodes existent.

Une méthode très voisine basée sur l'examen des cryptogames, spécialement des épiphytes, connaît actuellement un succès tout particulier. En effet, les lichens se sont révélés des bio-indicateurs d'un intérêt considérable, et on peut facilement distinguer des zones successives d'appauvrissement de la flore épiphytique à l'approche des complexes industriels en particulier.

Grâce au calcul de l'« indice de pureté atmosphérique », la méthode basée sur l'observation des épiphytes fournit rapidement des données précises, chiffrées, sur le degré de pollution de l'air en un point donné, et ceci est le grand mérite de cette méthode.

Une autre méthode consiste à observer des espèces indicatrices sensibles, mais cultivées de façon homogène et disposées en des lieux appropriés. Cette méthode présente, à notre point de vue, l'inconvénient de nécessiter tout un processus de mise en place et de surveillance. Il nous semble, dans ces conditions, beaucoup plus simple de se servir de la végétation naturelle.

Une méthode différente de diagnostic consiste à utiliser comme référence lorsque cela est possible, non pas des plantes spontanées ou cultivées sujettes à des nécroses visibles, mais au contraire des plantes résistantes qu'il est possible d'analyser.

Dans ce cas, seule l'analyse chimique d'organes végétaux en laboratoire, à partir d'échantillons prélevés sur le terrain, permettra de situer les contours des zones polluées sous la forme, par exemple, de courbes de même concentration en polluant dites « isopol ». En effet, certains végétaux, même en l'absence de symptômes extérieurs témoignant de l'action de polluants, peuvent les accumuler jusqu'à une certaine limite, en les fixant tels quels, ou en les intégrant dans des processus métaboliques.

ÉVOLUTION RÉCENTE DU DIAGNOSTIC DES POLLUTIONS EN FORÊT

La pollution atmosphérique aiguë des forêts, objet du présent article, est apparue après 1918 et peut se caractériser de la façon suivante :

- la source et la nature des polluants sont identifiables ;

Diagnostic des pollutions atmosphériques aiguës en forêt

- il y a une forte concentration en polluants dans l'atmosphère ;
- la zone d'impact est faible (quelques dizaines de kilomètres) ;
- les lésions et nécroses des aiguilles et des feuilles sont caractéristiques et entraînent sur quelques années la mort d'un certain nombre d'arbres.

Mais depuis une dizaine d'années en Europe centrale et en particulier en Allemagne fédérale, un phénomène nouveau et différent de dépérissement est apparu au niveau des écosystèmes forestiers. C'est au début de l'année 1983 que les premières manifestations de ce phénomène ont été détectées en France dans les forêts vosgiennes.

Les causes de ce dépérissement sont sûrement nombreuses et complexes, et actuellement, la pollution de l'air est fortement soupçonnée d'intervenir, vraisemblablement en synergie avec d'autres facteurs (climatiques, édaphiques, sylvicoles, orographiques, etc...).

Ce dépérissement des forêts est nettement différent des cas bien connus de pollution des forêts observés jusqu'à présent en France. Il peut se caractériser schématiquement de la façon suivante :

- la source n'est pratiquement pas identifiable (transport à longue distance sur plusieurs centaines de kilomètres) et les polluants responsables ne sont pas encore connus avec précision (pollution photo-oxydante, pollution acide, pollution organique ?) ;
- le niveau de pollution de l'air est généralement faible et les zones forestières touchées sont la plupart du temps très éloignées des sources polluantes atmosphériques classiques (zones industrielles, concentrations urbaines) ;
- la zone d'impact est très étendue, irrégulière et encore mal délimitée (Nord-Est de la France, Jura, Alpes du Nord) ;
- il n'apparaît généralement pas immédiatement de lésions visibles ni de nécroses, mais les conifères avec leurs aiguilles persistantes ont été les plus touchés (Garrec, 1986).

Il apparaît donc qu'au niveau de l'impact actuel de la pollution atmosphérique sur la forêt, nous sommes passés, dans beaucoup d'endroits, d'une forêt polluée à une forêt dépérissante caractérisée par deux nouveaux types de symptômes : la chute prématurée et le jaunissement des aiguilles et des feuilles.

Ces particularités du dépérissement des forêts montrent tout de suite que l'étude et le diagnostic de celui-ci sont actuellement particulièrement difficiles et complexes.

J.P. GARREC
Laboratoire d'Étude de la Pollution atmosphérique
CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES (INRA)
BP 35
CHAMPENOUX 54280 SEICHAMPS

BIBLIOGRAPHIE

- CORMIS (L. de). — La pollution de l'air et les végétaux. Précis général des nuisances. Les nuisances dans les activités rurales. — Paris : Ed. Guy le Prat, 1972. — pp. 81-121.
- GARREC (J.P.). — De la forêt polluée à la forêt dépérissante. — *Pollution atmosphérique*, n° 110, 1986, pp. 142-143.