



europa.eu

EUROPEAN UNION

La recommandation 1432 du Conseil de l'Europe est un moyen de réduire ces pluies acides HNO₃

L'ACTION DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR LA SANTÉ DES FORÊTS

Sommaire

- [11.1.1 - L'apparition d'une nouvelle approche et de nouveaux concepts de l'incidence de la pollution atmosphérique sur les forêts](#)
- [11.1.2 - Pourquoi des phénomènes de dépérissement des forêts ? La place de la pollution atmosphérique](#)
 - [Un phénomène complexe](#)
 - [L'influence des facteurs intrinsèques et anthropiques](#)
 - [Le bilan](#)
 - [Les agents de la pollution atmosphérique pouvant intervenir dans les dépérissements](#)
- [11.1.3 - Les conséquences économiques, sociales et écologiques du dépérissement des forêts](#)
 - [La dimension économique](#)
 - [La dimension sociale](#)
 - [La dimension écologique](#)

11.1.1 - L'apparition d'une nouvelle approche et de nouveaux concepts de l'incidence de la pollution atmosphérique sur les forêts

Depuis longtemps, on sait que les gaz de combustion ainsi que les émissions de certaines installations industrielles peuvent porter atteinte aux forêts. Au début de l'ère industrielle, la pollution est perçue comme un phénomène local (pollution de proximité). Elle est due essentiellement à la présence dans l'air de substances chimiques gazeuses simples (SO₂, NO_x, F...) dont les effets visibles sont aisément reconnaissables. Depuis, de nouvelles espèces chimiques ont été identifiées ou sont apparues. La pollution atmosphérique s'est révélée peu à peu à la lumière des travaux de recherche comme un processus complexe, résultat de l'interaction de nombreux facteurs physiques, chimiques, d'origine naturelle et anthropique. Les agents agresseurs, autres que climatiques, ont récemment été redéfinis de la façon suivante :

- les *dépôts humides*, constitués de polluants transformés, dissous dans l'eau de pluie et les gouttelettes des brouillards ou des nuages,
- les *dépôts secs*, constitués de polluants gazeux primaires (SO₂, NO_x, hydrocarbures) ou secondaires photochimiques (ozone, oxydants) et de particules.

Cette redéfinition d'espèces chimiques, dont les effets sont connus depuis longtemps, implique une nouvelle conception des phénomènes de pollution atmosphérique dans laquelle on distingue :

- *des effets directs*, lorsque les polluants agissent spécifiquement sur l'un des constituants des écosystèmes terrestres ou aquatiques, ou sur des matériaux ; ces effets ne se manifestent pas toujours de façon spectaculaire, des bases de comparaison sont souvent nécessaires pour les mettre en évidence ; aux effets aigus ont succédé des effets subnécrotiques, sensibles sur la croissance et la productivité ;
- *des effets indirects*, lorsque l'action des polluants sur l'un des constituants d'un écosystème entraîne des altérations des autres constituants et en perturbe le fonctionnement.

Une autre caractéristique de ce nouveau concept concerne la notion d'espace. Alors que les effets des dépôts secs se manifestent à une distance proche de la source d'émission (échelle 10 km), les effets des dépôts humides et des polluants secondaires peuvent être ressentis à des distances beaucoup plus grandes (100 - 1 000 km). Cette pollution diffuse peut toucher des zones précédemment peu polluées. Cette dernière notion est à l'origine de l'approche scientifique et politique des problèmes de pollution à l'échelle internationale.

Section V.11.1

L'ACTION DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR LA SANTÉ DES FORÊTS

Sommaire

- 11.1.1 - L'apparition d'une nouvelle approche et de nouveaux concepts de l'incidence de la pollution atmosphérique sur les forêts
- 11.1.2 - Pourquoi des phénomènes de dépérissement des forêts ? La place de la pollution atmosphérique
 - Un phénomène complexe
 - L'influence des facteurs intrinsèques et anthropiques
 - Le bilan
 - Les agents de la pollution atmosphérique pouvant intervenir dans les dépérissements
- 11.1.3 - Les conséquences économiques, sociales et écologiques du dépérissement des forêts
 - La dimension économique
 - La dimension sociale
 - La dimension écologique

11.1.1 - L'apparition d'une nouvelle approche et de nouveaux concepts de l'incidence de la pollution atmosphérique sur les forêts

Depuis longtemps, on sait que les gaz de combustion ainsi que les émissions de certaines installations industrielles peuvent porter atteinte aux forêts. Au début de l'ère industrielle, la pollution est perçue comme un phénomène local (pollution de proximité). Elle est due essentiellement à la présence dans l'air de substances chimiques gazeuses simples (SO₂, NO_x, F...) dont les effets visibles sont aisément reconnaissables. Depuis, de nouvelles

espèces chimiques ont été identifiées ou sont apparues. La pollution atmosphérique s'est révélée peu à peu à la lumière des travaux de recherche comme un processus complexe, résultat de l'interaction de nombreux facteurs physiques, chimiques, d'origine naturelle et anthropique. Les agents agresseurs, autres que climatiques, ont récemment été redéfinis de la façon suivante :

- les *dépôts humides*, constitués de polluants transformés, dissous dans l'eau de pluie et les gouttelettes des brouillards ou des nuages,
- les *dépôts secs*, constitués de polluants gazeux primaires (SO₂, NO_x, hydrocarbures) ou secondaires photochimiques (ozone, oxydants) et de particules.

Cette redéfinition d'espèces chimiques, dont les effets sont connus depuis longtemps, implique une nouvelle conception des phénomènes de pollution atmosphérique dans laquelle on distingue :

- des *effets directs*, lorsque les polluants agissent spécifiquement sur l'un des constituants des écosystèmes terrestres ou aquatiques, ou sur des matériaux ; ces effets ne se manifestent pas toujours de façon spectaculaire, des bases de comparaison sont souvent nécessaires pour les mettre en évidence ; aux effets aigus ont succédé des effets subnécrotiques, sensibles sur la croissance et la productivité ;
- des *effets indirects*, lorsque l'action des polluants sur l'un des constituants d'un écosystème entraîne des altérations des autres constituants et en perturbe le fonctionnement.

Une autre caractéristique de ce nouveau concept concerne la notion d'espace. Alors que les effets des dépôts secs se manifestent à une distance proche de la source d'émission (échelle 10 km), les effets des dépôts humides et des polluants secondaires peuvent être ressentis à des distances beaucoup plus grandes (100 - 1 000 km). Cette pollution diffuse peut toucher des zones précédemment peu polluées. Cette dernière notion est à l'origine de l'approche scientifique et politique des problèmes de pollution à l'échelle internationale.

11.1.2 - Pourquoi des phénomènes de dépérissement des forêts ? La place de la pollution atmosphérique

Un phénomène complexe

L'état des connaissances actuelles sur le dépérissement des forêts résulte de travaux de recherches pluridisciplinaires conduits dans plusieurs pays européens :

- Allemagne : recherches coordonnées par les ministères de la Recherche, de l'Agriculture et de l'Environnement complétées par des programmes financés par les Länder,
- Pays-Bas : *Dutch Priority Programme on Acidification*,
- France : programme DEFORPA (Dépérissement des Forêts attribué à la Pollution Atmosphérique),
- Autriche : *Forschungsinitiative gegen das Waldsterben*,
- Suisse : programme SANASILVA et Programme National de Recherches 14,
- Finlande : programme *HAPRO*.

Les études ont montré une diversité de situations et d'évolutions selon les essences et le

contexte écologique. Les dommages se concentrent souvent sur une ou deux essences et sont plus marqués sur les arbres âgés. Le dépérissement est souvent la traduction d'un stress passé ou qui s'est accumulé depuis de nombreuses années.

- Des facteurs sont *prédisposants* : un faible taux de saturation des sols en cations basiques (jaunissement), des dépôts acides cumulés d'origine atmosphérique (H₂SO₄, HNO₃) ou acidifiants (NH₄) qui désaturent le complexe absorbant, des peuplements denses ou âgés, la culture d'essence à forte productivité (forte émission de protons pour l'absorption des cations) et un climat rigoureux notamment en montagne.
- Des facteurs sont *déclenchants* : ils sont principalement de nature climatique et s'exercent sur une courte durée ; (séries d'années sèches ou années contrastées sur le plan climatique).
- Des facteurs sont *aggravants* : ce sont principalement des facteurs biotiques, les champignons pathogènes racinaires et les insectes ravageurs.

L'influence des facteurs intrinsèques et anthropiques

L'alimentation en eau et la nutrition minérale constituent deux facteurs cruciaux dans la croissance des arbres forestiers, ils sont aujourd'hui largement incriminés dans les phénomènes de dépérissement. Pour le sapin, les déficits d'alimentation hydrique constituent la cause primaire de perte des aiguilles et pour l'épicéa en station oligotrophe une faible disponibilité du magnésium dans le sol est à l'origine du jaunissement des aiguilles de deux ans et plus.

A titre d'exemple certains faits observés dans des peuplements sujets au dépérissement lors d'études de cas sont significatifs :

- certains sols très appauvris continuent à perdre des éléments minéraux du complexe d'échange, à un rythme de 1 à 2 % par an pour le magnésium et le calcium, soit un épuisement complet prévisible à l'échelle du siècle si le rythme se maintient ; les carences nutritionnelles devraient donc avoir une propension à se développer dans les sols les plus pauvres,
- dans des peuplements résineux situés sur sols très pauvres, la quantité d'éléments minéraux stockés dans la biomasse peut être du même ordre de grandeur, voire supérieure, aux réserves totales disponibles du sol,
- en comparant deux peuplements, une pessière et une chênaie, les dépôts sous couvert de résineux (acidité, nitrates, sulfates ...) ont été au moins trois fois plus importants que sous couvert de feuillus,
- l'effet acidifiant de l'épicéa par rapport aux feuillus (chênes) est surtout attribué à sa capacité de filtration de l'atmosphère (captation des dépôts secs et des gouttelettes de nuage) et à sa productivité élevée,
- le lessivage du magnésium, sous l'influence des dépôts acides semble nettement plus fort que le prélèvement par les arbres,
- certains sols forestiers sont incapables de neutraliser l'aluminium libéré au terme d'un processus complexe dans le sol, ce qui peut mettre en péril la vie biologique dans les ruisseaux en aval,
- pour certains éléments minéraux comme le calcium, la contribution de la récolte de bois à l'appauvrissement de l'écosystème est du même ordre de grandeur que celle engendrée par les dépôts acides,
- la suppression de l'écorçage sur le parterre de la coupe double quasiment les exportations minérales car l'écorce en est beaucoup plus riche que le bois,
- les prélèvements non ligneux en forêt (même anciens), ou l'utilisation agricole du sol avant la plantation d'arbres, ont pu appauvrir certains sols avant même que la sylviculture et des dépôts acides n'exercent leur action ,

- les sapinières les plus déperissantes étaient dans le passé beaucoup plus denses que celles qui sont restées saines,
- l'étagement des peuplements et le mélange d'essences seraient des facteurs favorables qui diminuent la gravité des crises de vitalité,
-

Le bilan

Dans un grand nombre de régions, les concentrations atmosphériques et les dépôts de certains polluants dépassent les taux auxquels une perturbation des écosystèmes forestiers est à présumer. Dans ces circonstances, une réduction de la charge de la pollution atmosphérique devrait entraîner une légère amélioration de l'état des forêts atteintes et retarder un nouveau dysfonctionnement des écosystèmes. Le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote (précurseurs de l'ozone et des dépôts acides) et d'autres substances peuvent revêtir une grande importance dans une région donnée. *Si la pollution atmosphérique n'apparaît pas, en général, en facteur principal*, son maintien au niveau actuel et, a fortiori, une augmentation des concentrations de substances nocives dans l'atmosphère est reconnue comme un élément qui porterait préjudice à la vitalité des écosystèmes forestiers (effets indirects).

Mais certaines substances (CO₂, CH₄, N₂O, CFC...) sont mises aussi en cause dans l'évolution du climat. Le réchauffement éventuel du climat mondial, qui selon des calculs récents pourrait atteindre plusieurs degrés au siècle prochain, est inquiétant. En effet, les forêts présentant des symptômes de dépérissement auraient une capacité de réaction réduite, face à des facteurs de stress supplémentaires tels que des changements climatiques significatifs sur le long terme.

Plusieurs pays ont souligné la prépondérance des conditions climatiques, notamment des sécheresses de 1976, 1983 à 1985, 1989 à 1991, dans le phénomène de dépérissement.

Les agents de la pollution atmosphérique pouvant intervenir dans les dépérissements

La pollution atmosphérique se compose de toute une série de substances nocives dont les plus importantes sont le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x) et les métaux lourds. Les interactions entre ces différentes substances sont peu connues et par prudence, on admet un effet de synergie possible.

Le dioxyde de soufre (SO₂)

Le SO₂ est emporté sur des distances importantes, notamment grâce à la hauteur des cheminées des installations de combustion. Le problème dépasse ainsi les régions industrielles et menace les forêts situées dans des zones où l'air était a priori plus pur précédemment (pollution diffuse). Le SO₂ en tant que gaz est transporté facilement. Il pénètre directement par les stomates des aiguilles et les feuilles (dépôts secs). Là, il se dissout dans le liquide cellulaire et se transforme en acide, entraînant la destruction de la substance cellulaire, ce qui conduit au dépérissement des organes d'assimilation. Le SO₂ se dissout également dans les précipitations où dans les organes d'assimilation humides et se transforme alors en H₂SO₃ ou H₂SO₄ par voie d'oxydation. Ces acides endommagent les couches des épidermes et pénètrent dans les organes où ils induisent des perturbations métaboliques profondes.

La pluie qui tombe à travers les cimes lessive les composés acides stockés par les aiguilles et les feuilles et possède donc une acidité sensiblement plus élevée que la pluie en plein

champ (jusqu'à pH 2.8). Ceci conduit à une acidification du sol, avec comme conséquence un lessivage renforcé des cations (calcium, magnésium et potassium), ainsi qu'une augmentation concomitante des ions d'aluminium et de fer libérés dans la solution du sol qui endommagent les racines. La baisse du pouvoir tampon du sol qui y est liée est un processus réversible, mais très lent, sauf amendement et fertilisation appropriés.

Les oxydes d'azote

Les oxydes d'azote se forment lors des processus de combustion à température élevée (par exemple moteurs de voiture). Le monoxyde d'azote (NO) s'oxyde à l'air libre en dioxyde d'azote (NO₂). Les oxydes d'azote comme le dioxyde de soufre participent à la formation des précipitations acides. Sur les feuilles, il existe ainsi une synergie d'action entre le SO₂ et le NO₂. Cependant, l'impact des dépôts azotés peut aussi se traduire par des phénomènes d'eutrophisation des sols et de la flore forestière (apport de nitrate et d'ammonium). Des études sont menées à ce sujet aux Pays-Bas, en Allemagne et en France. Les oxydes d'azote sont également des précurseurs de polluants secondaires telles que l'ozone et d'autres photo-oxydants qui ont un effet non négligeable sur l'état sanitaire des forêts.

Les photo-oxydants

Ces polluants secondaires naissent d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures sous l'effet de la lumière ultraviolette (rayonnement solaire). Parmi ces produits, regroupés dans le "smog photochimique", on trouve de l'ozone, du peroxyacétylnitrate, des peroxydes, des aldéhydes, des acides organiques et d'autres combinaisons chimiques. Les photo-oxydants réagissent de la même façon que le SO₂ et le NO₂ à l'état gazeux. On suppose qu'il y a des synergies entre toutes ces substances. L'ozone (O₃) est considéré comme le composé chimique le plus important, c'est un gaz naturel dans l'air, peu stable et normalement assez rare, mais dont le niveau tendrait à augmenter du fait des activités humaines. Les concentrations mesurées augmentent avec l'altitude et sont maximales en milieu forestier : la présence de monoxyde d'azote (NO) en ville permet une réduction de l'O₃ en NO₂, ce qui ne se produit pas en forêt.

L'enrichissement de l'atmosphère en ozone est estimé à 1 % par an, il est très dépendant de l'ensoleillement et sujet à de fortes variations interannuelles. L'ozone, à certains seuils de concentration, pourrait avoir un effet dépressif sur la physiologie de la croissance des espèces forestières (*le Picea* y étant peu sensible) en provoquant une sénescence précoce des tissus pour la plupart des espèces, mais les concentrations sont mal connues et les effets sont variables selon les régions.

Les métaux lourds

Les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, l'étain, le mercure sont rejetés dans l'environnement lors de nombreux processus de combustion ou de traitements de surfaces métalliques et peuvent être transportés sur de grandes distances. Ils pénètrent dans les arbres sous forme de sels dissous (par les feuilles ou par les racines) et perturbent les processus enzymatiques. L'accumulation de métaux lourds menace également les mycorhizes et la microfaune du sol. Les lessivages vers les nappes phréatiques sont particulièrement dangereux, et ils sont d'autant plus élevés que les précipitations et les sols sont fortement acides.

11.1.3 - Les conséquences économiques, sociales et écologiques du dépérissement des forêts

Cette conséquence se retrouve sur la viticulture et l'abroculture

La dimension économique

On manque à l'heure actuelle d'indicateurs et de protocoles harmonisés pour quantifier l'impact économique du dépérissement attribué à la pollution atmosphérique. Aucune donnée fiable n'est disponible sur la perte d'accroissement biologique, l'importance de la mortalité, le coût des abattages forcés et les sacrifices d'exploitabilité entraînés. En toute logique, la pollution atmosphérique a une incidence négative sur l'économie de la forêt mais dans des proportions inconnues et difficilement identifiables d'autant plus que les variations de prix, par exemple, sont intimement liées à d'autres paramètres :

- **demande des entreprises,**
- **prix du bois au-delà des frontières communautaires,**
- **importance des dépréciations de grumes ou de rondins dûs aux insectes ravageurs et aux maladies cryptogamiques,**
- **comportement du consommateur,**
- **modification de produits comme le remplacement du bois par d'autres matériaux, etc.**

Quant aux peuplements forestiers, la télédétection devrait permettre une approche plus exhaustive et quantitative de l'évaluation des dégâts. Une estimation des pertes annuelles de production et de commercialisation en volume dues à la pollution atmosphérique dans les pays de l'Union européenne (exceptés la Grèce, l'Espagne et le Portugal) aboutit à 23 millions de m³. Dans une étude prévisionnelle réalisée dans la seule République Fédérale d'Allemagne en 1986, il ressort que la perte financière due à la pollution se situerait annuellement entre :

- **1.7 et 4.8 milliards de DM pour la production et la commercialisation forestières stricto sensu,**
- **2.6 et 6.3 milliards de DM de pertes pour le potentiel de loisir lié à la forêt,**
- **0.3 et 0.4 milliards de DM en matière d'altération du régime des eaux et de fonction de protection.**

Ces chiffres sont à considérer avec beaucoup de précaution compte-tenu des incertitudes qui existent dans de telles estimations globales et le manque d'indicateurs objectifs et quantitatifs dans ce domaine. D'autres auteurs qui admettent des pertes économiques directes dans les régions les plus touchées par le dépérissement (Europe centrale, dont l'est et le sud de l'ex-RFA) insistent particulièrement sur la baisse de productivité, la fragilisation des peuplements, l'augmentation des risques naturels liés aux agressions biotiques ou abiotiques, les sacrifices d'exploitabilité engendrés qui entament le capital plus que les intérêts. Il faut relativiser le phénomène et attendre des estimations plus précises ; deux chiffres parlent d'eux-mêmes :

- **les forêts faisant l'objet d'un dépérissement sévère représentent 0.5 % de la surface boisée du continent européen et 4 000 ha pour toute l'Europe occidentale,**
- **dans un pays comme la France, la mortalité des arbres échantillons du réseau européen d'observation de la santé des forêts n'a jamais excédé annuellement 0.4 % des individus.**

Quant aux incidences sur les marchés du bois, l'inventaire partiel des perturbations de marché dues aux dommages causés par la pollution atmosphérique montre qu'elles sont modestes et purement régionales voire locales, aucune influence sur les marchés nationaux

et européens n'a pu être démontrée.

La dimension sociale

L'opinion publique a pris conscience du phénomène de dépérissement des forêts lorsque les médias se sont fait largement l'écho de ce problème, attribué d'emblée à la pollution atmosphérique : *les pluies acides* (1983). Le phénomène a été vécu de façon différente selon les pays, mais c'est la prise de conscience et la stupeur des populations allemandes qui ont érigé les "pluies acides" en problème majeur et point de départ d'une propagation à toute l'Europe.

D'un statut purement factuel, toute une dynamique sociale extrêmement complexe d'actions et de réactions s'est alors engagée et les "pluies acides" (*Waldsterben* (Littéralement, "mort de la forêt" (en allemand))) se sont ainsi transformées en enjeu culturel, économique, réglementaire, politique et idéologique, c'est-à-dire en un problème environnemental.

L'analyse sociale met en évidence :

- le rôle fondamental des médias d'informer et de sensibiliser la population à un problème d'environnement avec néanmoins certains effets très pervers, à savoir une désinformation alarmiste sur des bases non scientifiques ou des affirmations gratuites en occultant les problèmes plus fondamentaux pour le devenir des forêts,
- l'importance de l'imaginaire, des rumeurs, des effets de panique (catastrophisme), et la perte de crédibilité des informations de source "officielle",
- le manque d'articulation et de synchronisation des disciplines scientifiques les unes par rapport aux autres et l'absence de communication entre les chercheurs, les responsables politiques et les médias.

Cette inquiétude sociale a néanmoins permis de générer des programmes de recherche permettant, à terme, d'anticiper ou d'être mieux armé si de tels phénomènes se reproduisaient. La nécessité de disposer *d'experts scientifiques* ayant une vue globale des problèmes et pouvant à la fois informer les responsables politiques et répondre aux questions des populations, dans l'état actuel des connaissances, a ainsi été mise en évidence.

En Europe, l'existence d'une recherche pluridisciplinaire sur la problématique du dépérissement et l'existence des réseaux d'observation de la santé des forêts sont des facteurs pouvant prévenir l'essentiel des problèmes qui pourraient naître d'un manque de connaissance, d'expertise, de maîtrise, de suivi du phénomène, comme c'était le cas au début des années 1980. Ces observations régulières et ces investigations scientifiques réalisées objectivent la situation et les débats. Elles permettent d'aborder les problèmes avec plus de sérénité, de recul. Ce phénomène inconnu qui échappait au contrôle de l'homme commence ainsi à être démystifié.

La dimension écologique

Les sols

L'acidification des sols est un phénomène normal et naturel en forêt tempérée et le véritable problème qui peut se poser est la vitesse à laquelle se fait cette acidification.

En effet, l'accumulation des dépôts acides (H_2SO_4 , HNO_3 , NH_4) accélère le processus d'acidification par désaturation relativement rapide du complexe absorbant se traduisant par une perte, parfois massive, des cations. Plus les sols sont appauvris et moins ils sont capables de neutraliser les apports acides ; ils réagissent alors à l'acidité de la solution du

sol en libérant de l'aluminium, dont l'excès inhiberait le prélèvement du calcium et du magnésium par les arbres.

La quantité de dépôts atmosphériques neutralisable par le sol (le seuil maximal de dépôt correspondant à la charge critique) dépend donc de la richesse chimique des sols. Les dépôts de soufre varient généralement de 5 à 50 kg/ha/an mais ils peuvent être supérieurs à 70-80 kg/ha/an dans les zones fortement exposées, comme c'est parfois le cas en Europe centrale. Théoriquement, les dépôts de soufre devraient être compris tout au plus entre 3 à 33 kg/ha/an selon les sols. Quant à l'azote ammoniacal (NH₄ essentiellement d'origine agricole), les valeurs de dépôts sont également comprises entre 5 et 50 kg/ha/an, et influent tout autant sur le processus d'acidification des sols. Les dépôts azotés devraient être compris entre 5 à 20 kg/ha/an pour les feuillus et 3 à 15 kg/ha/an pour les conifères. L'oxydation de NH₄⁺ donne du NO₃, forme d'azote directement assimilable par les plantes ; l'augmentation des dépôts augmente donc simultanément l'acidité du sol et la disponibilité en cet élément par la flore (eutrophisation). Le problème de l'appauvrissement des sols est fondamental car il va fragiliser les peuplements forestiers et donc l'écosystème forestier dans son ensemble dans les stations oligotrophes.

Les eaux

Les effets de la pollution sont variables, voire opposés, selon les localités et ils sont aussi largement conditionnés par la composition chimique, la texture et la profondeur des sols par où l'eau transite avant de rejoindre les nappes phréatiques :

- **soit l'acidification progressive d'une épaisse couche de sous-sol freine l'acidification de la nappe ("piégeage d'ions"),**
- **soit l'acidité des précipitations, transmise à travers des sols acides et peu épais aux eaux superficielles, occasionne la disparition d'éléments de la flore et de la faune aquatique.**

La flore

La flore herbacée apparaît beaucoup plus tolérante vis-à-vis des carences nutritionnelles que les peuplements forestiers qui vont montrer plus rapidement des symptômes de défoliation ou de décoloration (jaunissement). Le processus d'eutrophisation dû à l'enrichissement en NO₃- et NH₄⁺ favorise le développement d'une flore nitrophile et peut modifier à terme la composition générale du tapis herbacé. Des travaux menés sur la microbiologie et la nutrition dans les sols forestiers ont montré l'effet dépressif des dépôts acides qui favorisent une microflore délétère diminuant l'absorption minérale, notamment par action sur les complexes symbiotiques.

La faune

L'effet de l'augmentation de l'acidité a surtout été étudié pour la faune aquatique et notamment les poissons dont certaines espèces peuvent totalement disparaître comme la truite. Des études ont également porté sur la faune du sol et ont mis en évidence des variations dans la proportion des différentes espèces.

Le niveau de biodiversité

L'effet de la pollution atmosphérique sur la diversité faunistique en forêt est mal connu. En revanche, il apparaît que pour la flore :

- **la pollution n'a probablement pas causé de disparition d'espèce,**

- à l'échelle du patrimoine génétique d'une espèce forestière, la pollution ne semble pas pouvoir réduire la variabilité génétique car les facteurs de l'hérédité (allèles) sont distribués chez tous les individus de façon hétérogène et sur toute l'étendue du territoire phytogéographique (variation individuelle, variation de sous-populations) ; la probabilité pour que des caractères soient perdus sous l'effet d'un facteur de stress comme la pollution est faible,
 - de façon très localisée, la pollution est un facteur de sélection (adaptation à tolérer certaines concentrations de substances polluantes) comme d'autres facteurs de l'environnement :
 - à l'échelle interspécifique, il existe des degrés de sensibilité variable entre espèces, *Abies alba* est très sensible au SO₂ tandis que les espèces du genre *Cupressus* sont résistantes,
 - à l'échelle intraspécifique, des provenances se montrent très significativement plus sensibles que d'autres, ce qui sous-entend des adaptations particulières de certains génotypes ; aucun effet particulier n'est signalé ou expliqué concernant l'impact de la pollution atmosphérique sur le niveau de biodiversité des écosystèmes et des écocomplexes forestiers.
-