



**Conseil économique
et social**

Distr.
GÉNÉRALE

EB.AIR/WG.1/2002/7
17 juin 2002

FRANÇAIS
Original: ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

ORGANE EXÉCUTIF DE LA CONVENTION SUR LA
POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE TRANSFRONTIÈRE
À LONGUE DISTANCE

Groupe de travail des effets
(Vingt et unième session, Genève, 28-30 août 2002)
Point 4 a) de l'ordre du jour provisoire

SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DES FORÊTS EN EUROPE

Rapport analytique du Centre de coordination du Programme international concerté
d'évaluation et de surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts

Introduction

1. Depuis 1986, le Programme international concerté d'évaluation et de surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts (PIC-Forêts) et l'Union européenne coopèrent étroitement à la surveillance des effets de la pollution atmosphérique et des autres facteurs perturbateurs sur les forêts. Les activités entreprises visent les objectifs énoncés dans les résolutions de la Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe (résolutions S1-Strasbourg, H1-Helsinki, L2-Lisbonne). Aujourd'hui, 39 pays participent au programme de surveillance, qui contribue à la mise en œuvre de politiques de salubrité de l'air en application de la Convention CEE-ONU sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, de la législation communautaire ainsi que des politiques et lois nationales.

Les documents établis sous les auspices ou à la demande de l'Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance aux fins d'une distribution GÉNÉRALE doivent être considérés comme provisoires tant qu'ils n'ont pas été APPROUVÉS par l'Organe exécutif.

2. Les objectifs du programme de surveillance sont les suivants:

a) Donner périodiquement, à l'aide d'un réseau d'observation systématique de grande échelle aux niveaux européen et national, un aperçu de la variation, dans l'espace et dans le temps, de l'état des forêts sous l'effet de facteurs perturbateurs d'origine anthropique ou naturelle (degré I);

b) Contribuer à une meilleure compréhension des relations entre l'état des écosystèmes forestiers et les facteurs perturbateurs, notamment la pollution atmosphérique, par une surveillance intensive d'un certain nombre de placettes d'observation permanente réparties dans toute l'Europe (degré II);

c) Contribuer au calcul des niveaux critiques, des charges critiques et de leurs dépassements dans les forêts;

d) Collaborer avec d'autres programmes de surveillance de l'environnement afin de livrer des données sur d'autres questions importantes telles que les changements climatiques et la diversité biologique des forêts, et contribuer ainsi à l'exploitation durable des forêts d'Europe;

e) Rassembler des données sur les processus qui se déroulent dans les écosystèmes forestiers et donner aux décideurs et au public des informations pertinentes.

3. Un réseau d'observation systématique à grande échelle (degré I) et un Programme de surveillance intensive des forêts (degré II) permettent d'atteindre les objectifs de ce programme.

4. Au degré I, quelque 6 000 placettes permanentes sont disposées systématiquement sur un quadrillage de 16 km x 16 km couvrant l'ensemble de l'Europe. L'état du houppier est examiné chaque année sur ce site, et des études du sol et/ou du feuillage sont effectuées sur la plupart des placettes. Un nouvel examen des sols est à l'étude. Pour la surveillance intensive, plus de 860 placettes de degré II ont été choisies dans les écosystèmes forestiers les plus importants des pays participants. Un grand nombre de facteurs clefs y sont mesurés et les données recueillies peuvent alimenter des études de cas sur les combinaisons les plus communes d'essences et de sites. Les facteurs clefs mesurés sur ces deux niveaux sont les éléments de base sur lesquels s'appuie l'extrapolation des résultats. On envisage actuellement d'intégrer d'autres paramètres et les données d'autres études.

I. DÉPÔTS ET CHARGES CRITIQUES ACTUELS D'AZOTE, D'ACIDITÉ ET DE MÉTAUX LOURDS SUR LES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS

5. On dispose, pour la plupart des pays européens, de cartes des charges critiques d'azote et d'acidité établies d'après des données d'estimation. Le grand nombre de placettes dans lesquelles l'observation est menée au degré II, leur distribution relativement large et le volume de la base de données donnent la possibilité de valider et d'améliorer les modèles actuels et de contribuer à la mise au point de nouvelles méthodes. On n'avait pas encore procédé à une évaluation, à l'échelle européenne, des charges critiques en se fondant sur des données de mesure relevées sur des placettes de surveillance intensive par comparaison avec les données de mesure des charges actuelles, et le présent rapport vient combler cette lacune. Comme le travail de collecte, de présentation et de validation des données prend du temps, on a utilisé des données antérieures

à 2 000. On a procédé à des évaluations après vérification minutieuse de la fiabilité et de la cohérence des données. Les charges critiques ont été calculées pour quelque 230 placettes de surveillance intensive pour lesquelles on disposait de toutes les données pertinentes sur les dépôts, la météorologie, la croissance des forêts, la chimie du sol et la solution du sol. Les résultats pour l'azote sont exprimés en tant que somme des nitrates (NO_3) et de l'ammonium (NH_4). L'acidité est définie en tant que somme des sulfates (SO_4) et de l'azote.

A. Définition des limites et des charges critiques

6. Les apports d'origine atmosphérique touchent simultanément différentes parties des écosystèmes forestiers. On peut donc calculer différentes charges critiques connexes qui tiennent compte de cette disparité. La plus petite d'entre elles est la charge critique qui intéresse la protection de l'écosystème considéré. On gardera à l'esprit que les charges critiques présentées se rapportent à un état d'équilibre. Tout excédent suppose une augmentation de la concentration d'azote et d'acidité, celle-ci finissant par atteindre la limite critique. Dans la pratique, plusieurs années ou décennies peuvent s'écouler avant que les effets ne soient visibles.

7. Dans le présent rapport, on a calculé les charges critiques d'azote dans la perspective de l'absence de toute nouvelle accumulation nette d'azote dans le sol. Les calculs reposent sur un seuil d'azote dans la solution du sol de $0,28 \text{ g.m}^{-3}$ ($0,02 \text{ mol.c.m}^{-3}$). Dans les sites où les valeurs sont supérieures, il faut s'attendre à un lessivage accru. En outre, on a incorporé des charges critiques d'azote dont l'objet est de veiller à ce que les concentrations d'azote dans le feuillage restent inférieures à une limite critique de 18 g.kg^{-1} . Au-dessus de cette limite, on peut s'attendre à différents effets sur les arbres: vulnérabilité accrue à la sécheresse, au gel, aux ravageurs et aux maladies. On peut aussi procéder différemment, en ciblant les effets des dépôts d'azote sur la végétation au sol. Dans ce cas, les limites sont fondées sur des données empiriques.

8. Les charges critiques d'acidité tiennent compte des effets, sur les racines des arbres, de l'aluminium libre présent dans la solution du sol. On les a calculées en gardant à l'esprit que les rapports de l'aluminium toxique aux cations basiques dans la solution du sol doivent rester inférieurs à une limite critique de 0,8 pour le pin et 1,6 pour le chêne et le hêtre. D'autres charges critiques d'acidité partent de l'hypothèse qu'il ne se produit aucune nouvelle perte de cations basiques échangeables dans les sols forestiers fortement alcalins (loess, sols argileux ou tourbeux) ni d'aluminium disponible dans les sols forestiers sablonneux à faible taux d'alcalinité.

9. On a calculé les charges critiques des métaux lourds qui finissent par s'accumuler dans la solution du sol au risque de perturber les organismes du sol. Pour le cadmium, on a utilisé une concentration de $0,8 \text{ mg.m}^{-3}$; pour le plomb, la limite était de 8 mg.m^{-3} .

B. Azote

10. De 1995 à 1999, les dépôts moyens d'azote sur la totalité des 234 placettes étaient de $19 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$. Les charges les plus faibles ont été relevées pour le pin, suivi de l'épicéa, ce qui traduit leur implantation là où les dépôts sont généralement faibles (la Scandinavie par exemple) (tableau 1). Des apports en azote supérieurs à $22,4 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ ($1\,600 \text{ mol.c.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$) ne se rencontrent que sur les placettes d'Europe centrale. L'apport total en azote est généralement beaucoup plus faible sur les placettes d'Europe du nord et d'Europe du sud.

11. La charge critique moyenne à partir de laquelle il ne se produit aucune nouvelle accumulation d'azote dans le sol était proche de $8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$. Cette valeur était dépassée sur 92 % des placettes de degré II qui ont été étudiées (tableaux 1 et 2). Les charges critiques étaient inférieures pour le pin, dont l'absorption de l'azote est inférieure à celle des autres essences. Des charges critiques élevées caractérisent les écosystèmes qui sont moins sensibles à des apports élevés d'azote. Ces placettes se trouvent principalement en Europe du sud, où les écosystèmes forestiers, particulièrement les forêts de feuillus, ont une absorption d'azote élevée. Les résultats confirment que les forêts d'Europe du nord sont plus sensibles aux apports d'azote dans la mesure où l'absorption nette de ce gaz par les arbres est inférieure dans ces régions.

12. Les charges critiques d'azote rapportées aux effets sur le feuillage étaient supérieures. Les réactions des arbres ne se produisent donc normalement que lorsque les apports d'azote sont élevés. La moyenne était proche de $14 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour le pin et de $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour l'épicéa. Ces charges étaient dépassées sur 45 % des placettes de résineux qui ont été examinées, signe d'une vulnérabilité accrue à la sécheresse, au gel, aux ravageurs et aux maladies.

13. Les charges critiques indépendantes de la modification de la végétation du sol ont été dépassées sur 58 % des placettes, ce qui dénote une éventuelle modification de la diversité végétale dans les forêts européennes.

Tableau 1. Dépôts totaux actuels moyens d'azote (DA kg), charges critiques d'azote (CC kg) en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ et pourcentage des placettes présentant un excédent de dépôt (CCex %). Les charges critiques sont rapportées aux effets dans le sol. Les valeurs placées entre parenthèses sont exprimées en $\text{mol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$

Essences	Nombre de sites	DA kg	CC kg	CCex (%)
Pin	57	15 (1 074)	6 (419)	96
Épicéa	96	19 (1 359)	9 (618)	86
Chêne	28	21 (1 476)	9 (623)	93
Hêtre	42	22 (1 540)	9 (659)	98
Autres	11	17 (1 198)	9 (670)	91
Toutes	234	19 (1 329)	8 (580)	92

Tableau 2. Placettes de degré II présentant des dépôts supérieurs aux charges critiques, par compartiment de l'écosystème forestier

Compartiment de l'écosystème	Pourcentage des placettes de degré II présentant un excédent de	
	Charges critiques d'azote	Charges critiques d'acidité
Sol	92	64
Essence	45	33
Végétation au sol	58	-

C. Acidité

14. La charge d'acidité moyenne (azote plus sulfates) sur 226 placettes est proche de 2 100 mol_c.ha⁻¹.an⁻¹. Comme pour l'azote, les charges les plus faibles ont été relevées pour le pin, suivi de l'épicéa (tableau 3). Des apports d'acidité relativement élevés peuvent se rencontrer partout en Europe, sauf dans les parties centrale et septentrionale de la Scandinavie, mais la plupart des sites qui reçoivent le plus d'acidité (jusqu'à 3 000 mol_c.ha⁻¹.an⁻¹) sont situés en Europe centrale.

15. Les charges critiques, qui tiennent compte des effets sur les racines par le biais de l'aluminium libre présent dans la solution du sol, sont nettement inférieures pour le pin et l'épicéa. Ces essences sont plus sensibles à l'aluminium que ne le sont le chêne ou le hêtre. En général, la charge critique d'acidité augmente à mesure que l'on passe des régions boréales à l'Europe du sud, ce qui montre que les écosystèmes forestiers du sud sont moins sensibles aux apports acides. Cela tient premièrement à des apports plus élevés de cations basiques neutralisants en provenance de l'atmosphère et du lessivage des sols et, deuxièmement, à une absorption plus élevée d'azote par la végétation du sud. Les charges critiques sont dépassées sur 33 % des placettes (tableaux 2 et 3).

16. Les charges critiques rapportées aux bassins de cations basiques et d'aluminium dans le sol sont inférieures. Elles sont dépassées sur 66 % des placettes.

Tableau 3. Dépôts totaux actuels moyens d'acide (DA mol), charges critiques d'acidité (CC mol) en mol_c.ha⁻¹.an⁻¹ et pourcentage des placettes présentant un excédent de dépôt (CCex %). Les charges critiques sont rapportées aux effets sur les racines

Essence	Nombre de sites	DA mol	CC mol	CCex (%)
Pin	55	1 749	2 906	40
Épicéa	94	2 146	2 726	34
Chêne	27	2 272	4 721	25
Hêtre	40	2 346	4 624	31
Autres	10	2 032	5 282	18
Toutes	226	2 094	3 469	33

D. Métaux lourds

17. En moyenne, les dépôts actuels de plomb sont beaucoup plus élevés que la charge critique, tandis que l'excédent est minime pour le cadmium. La proportion de placettes sur lesquelles les charges critiques étaient dépassées était de 91 % pour le plomb et de 29 % pour le cadmium (tableau 4). Toutefois, ces résultats sont fondés sur des critères très rigoureux liés aux effets éventuels sur les organismes du sol.

Tableau 4. Dépôts totaux actuels moyens (DA), charges critiques (CC) et excédents de dépôt (CCex) de plomb et de cadmium (en g.ha⁻¹.an⁻¹)

Nombre de sites pour toutes les essences	DA (g.ha ⁻¹ .an ⁻¹)		CC (g.ha ⁻¹ .an ⁻¹)		CCex (%)	
	Plomb	Cadmium	Plomb	Cadmium	Plomb	Cadmium
242	26	0,38	3,8	0,33	91	29

E. Perspectives

18. On a calculé, outre les charges critiques, les seuils de dépôt actuels. Ceux-ci tiennent compte de la situation actuelle de la placette, et – contrairement aux charges critiques – ne partent pas de l'hypothèse d'un état d'équilibre. Ils constituent donc un instrument plus précis pour évaluer les risques auxquels sont exposées les forêts. Selon les calculs préliminaires, les seuils actuels de dépôt sont plus élevés que les charges critiques d'azote, tandis qu'il en va autrement pour l'acidité. Cet aspect sera étudié de façon plus approfondie dans le rapport analytique de 2003, dans lequel seront appliqués des modèles dynamiques pour établir des prévisions des effets des scénarios des dépôts acides sur les sols forestiers. Pour affiner encore le calcul des charges critiques, il faudra continuer de coopérer étroitement avec d'autres organes et programmes relevant de la Convention.

II. VÉGÉTATION AU SOL ET BIODIVERSITÉ FORESTIÈRE

19. La composition par essence de la végétation au sol qui a été étudiée sur des placettes de surveillance intensive est un indicateur de la diversité végétale des écosystèmes forestiers. Le degré II est intéressant en ce qu'il permet de rapporter la composition par essence de la végétation au sol aux facteurs environnementaux, y compris les dépôts atmosphériques. On a cherché ainsi à mettre en évidence, là où cela était possible, les facteurs environnementaux qui pèsent le plus sur la diversité des plantes qui constituent la végétation au sol, d'autant que l'on présume que les dépôts de composés azotés représentent une menace grave. Si ces facteurs sont connus, on peut évaluer avec plus de précision les menaces qui pèsent sur la diversité végétale, et donner ainsi aux autorités locales les moyens de prendre des mesures de prévention.

A. Diversité biologique au niveau des placettes

20. On a procédé à une évaluation de la diversité végétale selon l'indice Simpson à l'aide des données disponibles en provenance de 674 placettes. La valeur de cet indice est proportionnelle au nombre d'essences. Les résultats indiquent qu'il existe d'importantes différences entre les placettes de toute l'Europe.

21. On a étudié les relations entre la diversité végétale et le nombre d'essences de la végétation au sol d'un côté, et les facteurs environnementaux de l'autre, pour environ 200 placettes pour lesquelles on disposait d'ensembles de données combinées, y compris des informations sur les sols et les essences, des données climatiques et des renseignements sur les dépôts atmosphériques (pluie au sol).

22. La variation de l'abondance des diverses espèces qui composent la végétation au sol peut s'expliquer en partie par les essences, l'état du sol et le climat, notamment les précipitations et la température (tableau 5). Un pH élevé dans les sols «riches», une forte saturation en bases et une présence importante de cations basiques, ainsi que les climats méridionaux et les conditions des chênaies, semblent déterminer une diversité végétale élevée. Les effets des dépôts azotés étaient inférieurs, mais leur importance statistique était réelle. Les dépôts peuvent avoir des incidences en partie cachées du fait de la relation entre les dépôts acides et le pH du sol de la placette, celle-ci étant une variable importante qui explique la composition de la végétation au sol. En outre, les résultats ne sont rapportés qu'à la distribution des espèces dans l'espace. Des études connexes montrent que les variations dans le temps de la composition de la végétation au sol peuvent être influencées par les dépôts atmosphériques. Cela donne à penser que l'influence des dépôts sur la végétation au sol est plus importante qu'il ne ressort de ces résultats. Les données qui seront rassemblées à l'avenir permettront d'évaluer de façon plus appropriée les effets des dépôts sur les variations de végétation.

Tableau 5. Variance expliquée des abondances d'espèces qui pourrait être attribuée aux quatre grands groupes de variables sur la base de 194 placettes

Groupe de variables	Variance expliquée
Situation du sol	7,6 %
Température, précipitations	5,6 %
Essence	4,1 %
Dépôts	3,3 %
Total	20,6 %

B. Rapport entre les différentes espèces et les facteurs environnementaux

23. La relation entre la probabilité d'occurrence de chaque espèce et les facteurs environnementaux a été étudiée pour 332 espèces différentes. Pour ce faire, on a relié l'occurrence des espèces à plus de 10 000 combinaisons possibles de données de degré II mesurées. Les résultats indiquent une influence prédominante de la chimie du sol, en particulier du pH, sur l'occurrence des différentes espèces et confirment les conclusions antérieures. La plupart des espèces se rencontrent dans des conditions alcalines tandis que, pour les sites acides, seules quelques espèces particulièrement adaptées sont prédominantes. Cette conclusion rejoint l'idée actuelle selon laquelle l'acidification est un facteur qui compromet la diversité biologique. Les années à venir verront apparaître des modèles fondés sur les évaluations présentées grâce auxquels on pourra prédire les variations de la composition de la végétation au sol en fonction des changements des conditions d'environnement.

III. ÉTAT DU HOUPPIER EN 2001 ET ÉVÉNEMENTS ANTÉRIEURS

24. L'étude annuelle de l'état du houppier est le principal outil dont on se sert dans le cadre du programme pour obtenir une vue d'ensemble à grande échelle de l'état des forêts en Europe. En 2001, les évaluations ont été réalisées dans tous les États membres de l'Union européenne et

dans 15 pays non membres sur le quadrillage transnational 16 km x 16 km. Quelque 132 000 arbres ont été étudiés sur près de 6 000 placettes durant les mois d'été. On a procédé régulièrement à des mesures d'assurance de la qualité dans les pays et de nombreux contrôles de plausibilité et de cohérence ont été effectués par le Centre de coordination du programme, qui se trouve à Hambourg (Allemagne). Les méthodes d'évaluation ayant changé, les ensembles de données pour la France et l'Italie ont été exclus de la série chronologique.

25. L'état du houppier a été évalué sous l'angle de la défoliation, paramètre qui décrit l'absence de feuillage pour chaque échantillon d'arbre. La défoliation dépendant de nombreux facteurs perturbateurs, elle est une mesure très utile de l'état général des forêts.

A. État du houppier en 2001 et tendances

26. Près d'un quart (22,4 %) de tous les arbres examinés en 2001 ont été classés comme modérément défoliés, gravement défoliés ou morts. Dans les pays de l'Union européenne, l'état du houppier était légèrement meilleur que dans l'Europe dans son ensemble. Parmi les quatre principales essences présentes sur les placettes, le chêne commun et le chêne rouvre étaient encore les plus gravement défoliés. C'est aussi dans ces essences qu'on a trouvé la plus forte proportion d'arbres morts (fig. I).

27. L'évolution dans le temps de la défoliation a été analysée sur un échantillon de tous les arbres qui ont fait l'objet d'une surveillance constante. La défoliation moyenne de toutes les principales essences, à l'exception du chêne vert, a augmenté en 2001 (fig. II). Toutes espèces confondues, la proportion des arbres endommagés ou morts (tranches de défoliation 2 à 4) a atteint un sommet en 1995 (25,8 % de la totalité des arbres) mais a diminué les deux années suivantes. Depuis lors, on a enregistré une progression constante, mais lente, de la défoliation.

28. L'évolution à moyen terme de la défoliation varie non seulement d'une essence à l'autre, mais aussi d'une région à l'autre. Une cartographie des placettes montre que le nombre de celles-ci présentant une détérioration significative est légèrement supérieur au nombre de placettes affichant une baisse de la défoliation moyenne.

29. Les régions dans lesquelles l'état du houppier s'est généralement amélioré sont le sud de la Pologne et le sud-ouest de la France. Ce sont l'est de la Bulgarie et le sud de l'Italie qui ont été le plus dégradés. Selon les experts locaux, la détérioration observée dans le sud de l'Europe s'explique surtout par les conditions météorologiques défavorables. En Bulgarie, on a également signalé de vastes incendies de forêt et, dans le cas de l'Italie, les zones endommagées du sud sont celles où les concentrations d'ozone ont figuré parmi les plus élevées d'Europe durant la période d'observation. En outre, les placettes de hêtres et de châtaigniers ont souffert des attaques sévères d'insectes et des agressions fongiques. L'amélioration de la situation dans le sud de la Pologne est attribuée à une réduction de la pollution atmosphérique et à des conditions météorologiques favorables, particulièrement pendant la période 1994-1999.

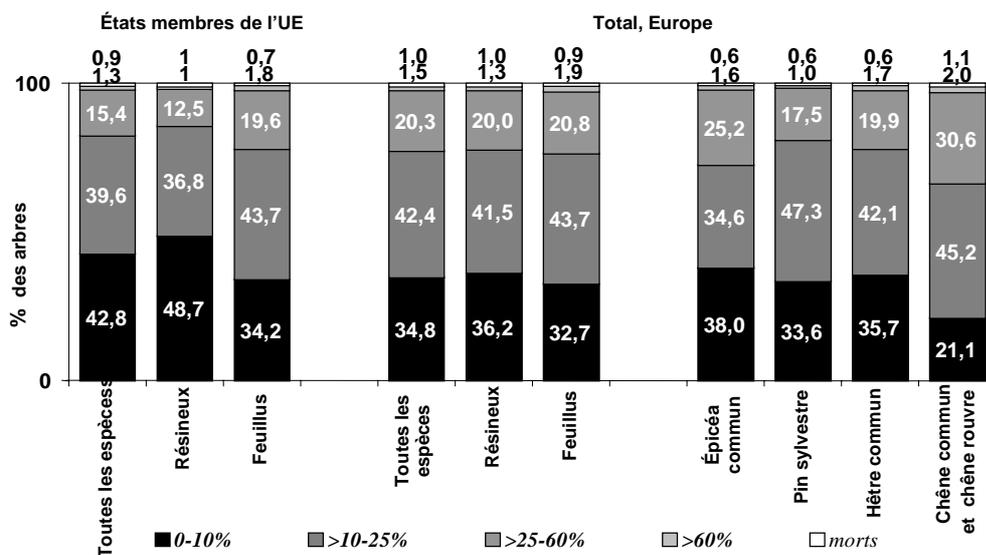


Figure I. Différentes tranches de défoliation des principales essences (principaux groupes). Total pour l'Europe et l'Union européenne, 2001

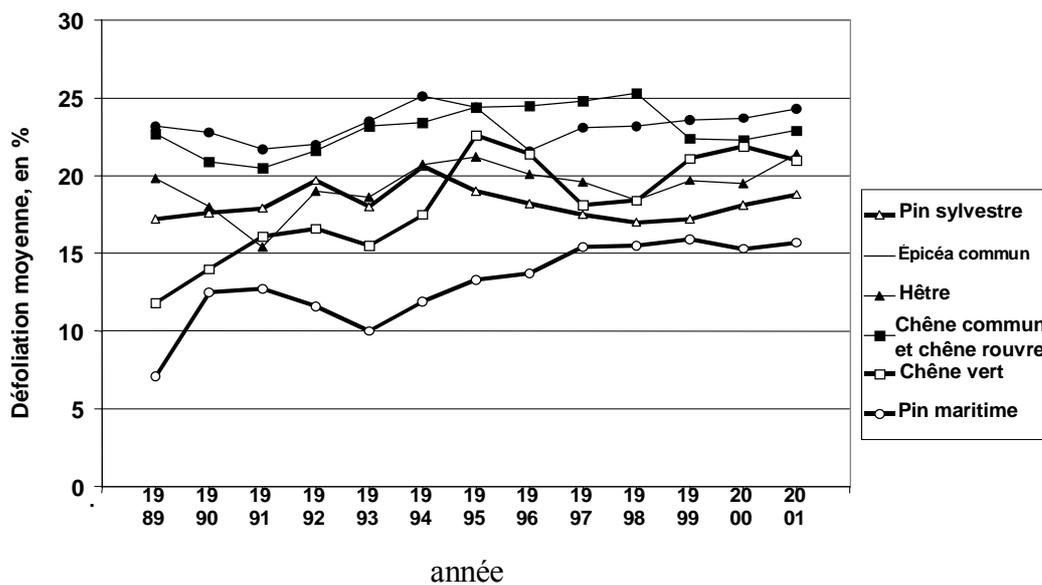


Figure II. Évolution de la défoliation moyenne des principales essences européennes, calculée au fil d'une surveillance constante. La taille des échantillons se situe entre 1 215 sujets pour le chêne européen et le chêne vert et 3 012 pour l'épicéa.

B. Influences sur l'état du houppier

30. Le pin sylvestre et le hêtre ont fait l'objet d'examen approfondis sur les placettes de degré I pour lesquelles on a notifié constamment des données sur au moins trois sujets de 1994 à 1999. La période d'étude s'est terminée en 1999 car on ne disposait plus de données ultérieures sur les dépôts.

31. En Europe, les estimations sur place de la défoliation sont fortement influencées par l'âge des peuplements (les sujets plus âgés sont généralement plus atteints) et par le pays dans lequel se trouve la placette de degré I (les méthodes d'analyse varient quelquefois d'un pays à l'autre).

32. On a ainsi étudié les niveaux de défoliation présentés sous l'angle des différences entre les estimations sur place et les valeurs de modélisation par placette qui tiennent compte des variables «âge du peuplement» et «pays» de façon à compenser leur influence. L'évolution de la défoliation a été calculée comme étant le gradient linéaire, au niveau des placettes, d'une régression par application de toutes les moyennes annuelles des placettes pour les années 1994 à 1999. L'influence de l'âge et du pays était négligeable pour l'évaluation des tendances dans le temps.

33. La méthode géostatistique par krigeage a été appliquée pour interpoler les niveaux et les tendances de la défoliation sur la base des placettes de degré I disponibles. Les valeurs interpolées ont été calculées uniquement pour les points du quadrillage, plus de quatre placettes étant disponibles dans un rayon de 100 km. Pour expliquer la défoliation en la rapportant à différentes influences environnementales, on a utilisé des modèles à variables multiples. La coïncidence d'une forte défoliation avec certains facteurs perturbateurs peut être assimilée à un effet préjudiciable.

1. Pin sylvestre

34. En Estonie, dans le sud de la Pologne et dans le nord-est de l'Espagne, certaines régions connaissent une défoliation moyenne relativement élevée, mais l'état du houppier s'y est amélioré. Par ailleurs, on a observé dans le centre de la Norvège une baisse de la défoliation moyenne, qui était relativement élevée, tandis que dans le sud du pays l'état plutôt sain du houppier s'est dégradé.

2. Hêtre commun

35. Dans le sud de l'Allemagne, la défoliation moyenne du hêtre, déjà relativement élevée, a augmenté vers la fin de la période d'observation. La Roumanie se caractérise par une fluctuation élevée de l'état du houppier du hêtre. Le centre du pays, qui connaissait une défoliation élevée, a vu sa situation s'améliorer jusqu'en 1999, tandis que la défoliation relativement faible dans le centre-est et le centre-ouest s'est nettement aggravée. Dans d'autres régions d'Europe – le nord-ouest de l'Allemagne et la région frontalière entre la Slovénie et la Croatie – l'état du houppier du hêtre s'est dégradé. On a enregistré des améliorations en Slovaquie et dans certaines régions de l'Allemagne.

3. Influences multiples sur l'état du houpier

36. D'après les résultats des modèles, il existe une corrélation entre le volume des précipitations et l'état de santé du houpier (tableau 6). Des plus, les placettes de pin montrent qu'il existe une éventuelle interaction entre les caractéristiques de site et les précipitations: sur les placettes où l'eau existe en quantité moyenne ou faible, il existe une corrélation positive entre les précipitations et l'état du houpier. Il semble que sur ces placettes un apport accru d'eau améliore l'état des forêts tandis que l'inverse est vrai des sites qui disposent d'un réservoir d'eau souterraine plus que suffisant. En ce qui concerne les facteurs de dégradation biotiques, les insectes (et, dans les hêtraies, également les champignons) sont liés à une défoliation élevée ou croissante. Les dépôts de soufre étaient également corrélés dans chacun des quatre modèles à une défoliation élevée ou croissante. Ces constatations confirment les résultats de la recherche sur les effets préjudiciables des apports de soufre. Les corrélations entre les apports d'azote et l'état des forêts ne sont pas significatives et révèlent des conditions ambiguës, ce qui pourrait confirmer les connaissances actuelles dans la mesure où les apports d'azote d'un côté sont responsables de l'eutrophisation des écosystèmes forestiers et, de l'autre, peuvent avoir des effets acidifiants. Les interactions entre les dépôts et le pH du sol dans le modèle (non représentées) montrent que les effets des dépôts dépendent en général de l'acidité du sol. Une tendance linéaire pourrait expliquer en partie la variation temporelle de la défoliation dans le cas du pin comme dans celui du hêtre, signe qu'il existe des tendances linéaires qui sont indépendantes des autres variables explicatives du modèle. Cependant, comme cela ressort déjà des cartes, il n'existe aucune tendance uniforme à l'échelle européenne, mais des conditions qui varient selon les placettes.

Tableau 6. Relations entre la variation dans le temps et la variation dans l'espace de la défoliation du pin sylvestre et du hêtre commun et différentes variables explicatives, selon des analyses de modèles de régression à variables multiples. La valeur R² indique le pourcentage de variance expliqué par le modèle

Défoliation		R ²	Nombre de placettes	Variables									
				Indice de précipitation	Interaction site * précipitations ^a	Insectes	Champignons	Dépôts ^b			Tendance linéaire	Âge	Pays
								S	NH _x	NO _y			
Variation spatiale	Pin	60,9	1 313	-	*	++		++	+	-		**	**
	Hêtre	41,1	399	--		+	++	+	-	+		**	**
Variation temporelle	Pin	44,5	1 313	-	*	+		++	+	-	*		
	Hêtre	39,3	399	-		+	+	+	-	+	*		

Notes:

-	Corrélation négative de	--	Corrélation négative importante	+	Corrélation positive	++	Corrélation positive importante	*	Corrélation	**	Corrélation importante
---	-------------------------	----	---------------------------------	---	----------------------	----	---------------------------------	---	-------------	----	------------------------

^a Source: Centre mondial de climatologie pluviale (www.dwd.de/research/gpcc).

^b Source: quadrillage 150 km x 150 km de l'EMEP (www.emep.int).

IV. CONCLUSIONS

37. Près du tiers de l'Europe est recouvert de forêts. Ces écosystèmes étendus sont partiellement touchés par les dépôts de polluants atmosphériques, apports qui interviennent parmi un ensemble d'autres facteurs perturbateurs d'origine anthropique ou naturelle.

38. Le programme de surveillance de l'Union européenne et du PIC-Forêts, qui rassemble des experts de 39 pays, exploite près de 7 000 placettes réparties dans l'ensemble de l'Europe et entretient des communications efficaces avec les décideurs et le grand public. Il est devenu une source d'information essentielle sur les politiques en matière de salubrité de l'air ainsi que sur les effets de la pollution atmosphérique et sa relation avec la gestion durable des forêts, la diversité biologique et les changements climatiques.

39. L'évolution, dans le temps, des données à grande échelle de ce programme relatives à l'état des forêts traduit elle aussi une détérioration générale du houppier au cours des cinq années écoulées, encore que l'ampleur des dégâts soit inférieure au pic atteint au milieu des années 90. Plus de 20 % de tous les sujets étudiés en 2001 ont été classés dans la catégorie «endommagés». Les évaluations à grande échelle de 1 300 placettes de pins et près de 400 placettes de hêtres ont fait ressortir clairement, pour la première fois, des corrélations entre les dépôts et la détérioration de l'état du houppier. En outre, les attaques d'insectes et de champignons et des conditions météorologiques défavorables ont eu des retombées sur l'état des forêts.

40. Dans le cadre du Programme de surveillance intensive, on a calculé les dépôts totaux sur plus de 200 placettes. Les apports d'azote se situaient, entre 1995 et 1999, entre 3,5 et 39 kg par hectare et par an, avec une valeur moyenne de 19 kg. Les apports moyens de soufre avoisinent les 12,5 kg et se situent, pour la plupart, entre 3 et 29 kg. Les effets de ces dépôts dépendent de la sensibilité des écosystèmes. On a calculé les charges critiques d'azote et d'acidité, qui expriment la quantité la plus élevée d'apports tolérables par des placettes précises: les résultats obtenus indiquent que les forêts scandinaves sont particulièrement sensibles. Les charges critiques d'azote et d'acidité ont été dépassées par les dépôts sur de nombreuses placettes. Ces résultats, qui ont été obtenus selon les méthodes de calcul indiquées dans le Manuel des méthodes et critères de cartographie des niveaux/charges critiques par l'utilisation des données de mesure obtenues sur des placettes de surveillance intensive, peuvent constituer un important outil supplémentaire de vérification des modèles appliqués et des cartes produites par d'autres PIC, notamment le PIC-Modélisation et Cartographie.

41. La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, qui s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992, s'est déclarée profondément préoccupée par l'appauvrissement de la biodiversité au niveau mondial et a estimé que les dépôts d'origine atmosphérique pouvaient en être l'un des facteurs. Les données du programme de surveillance relatives à la végétation au sol rapportées aux influences environnementales mesurées font à présent apparaître que l'acidité actuelle du sol est clairement liée à l'occurrence des espèces. On a trouvé que certaines espèces se ressentaient des dépôts d'azote. On a relevé aussi d'autres influences environnementales d'importance: les précipitations, la température et les essences implantées sur les placettes. Ce programme de surveillance a permis de mettre en évidence l'importance des questions liées à la diversité biologique et le groupe de travail dont il vient de se doter est à présent chargé de travaux d'évaluation et d'examen plus poussés qui pourraient, à l'avenir, permettre de chiffrer les retombées des facteurs environnementaux sur la biodiversité de la flore forestière.

42. En 16 années d'existence, le programme de surveillance des forêts entrepris par le PIC-Forêts et l'Union européenne a contribué efficacement à promouvoir, susciter et soutenir la sensibilisation en matière scientifique et politique ainsi qu'aux questions intéressant le grand public. Ses ensembles de données, dont le volume est en augmentation, et son infrastructure présentent un intérêt croissant pour d'autres organisations et projets. Dans le même temps, l'élargissement du champ de ses activités exige des partenaires compétents. C'est ainsi que les données de surveillance issues de ce programme sont reliées, dans les pays nordiques, aux inventaires nationaux des forêts. De plus, l'application de ces données à la surveillance des types d'habitat dans le cadre de Natura 2 000 est à l'étude. Les travaux du PIC-Forêts et de l'Union européenne tiennent compte aussi de processus internationaux tels que la Convention sur la diversité biologique et la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et bénéficient, par exemple, de la coopération avec la Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe ainsi qu'avec les réseaux de surveillance des dépôts d'autres régions du monde.
