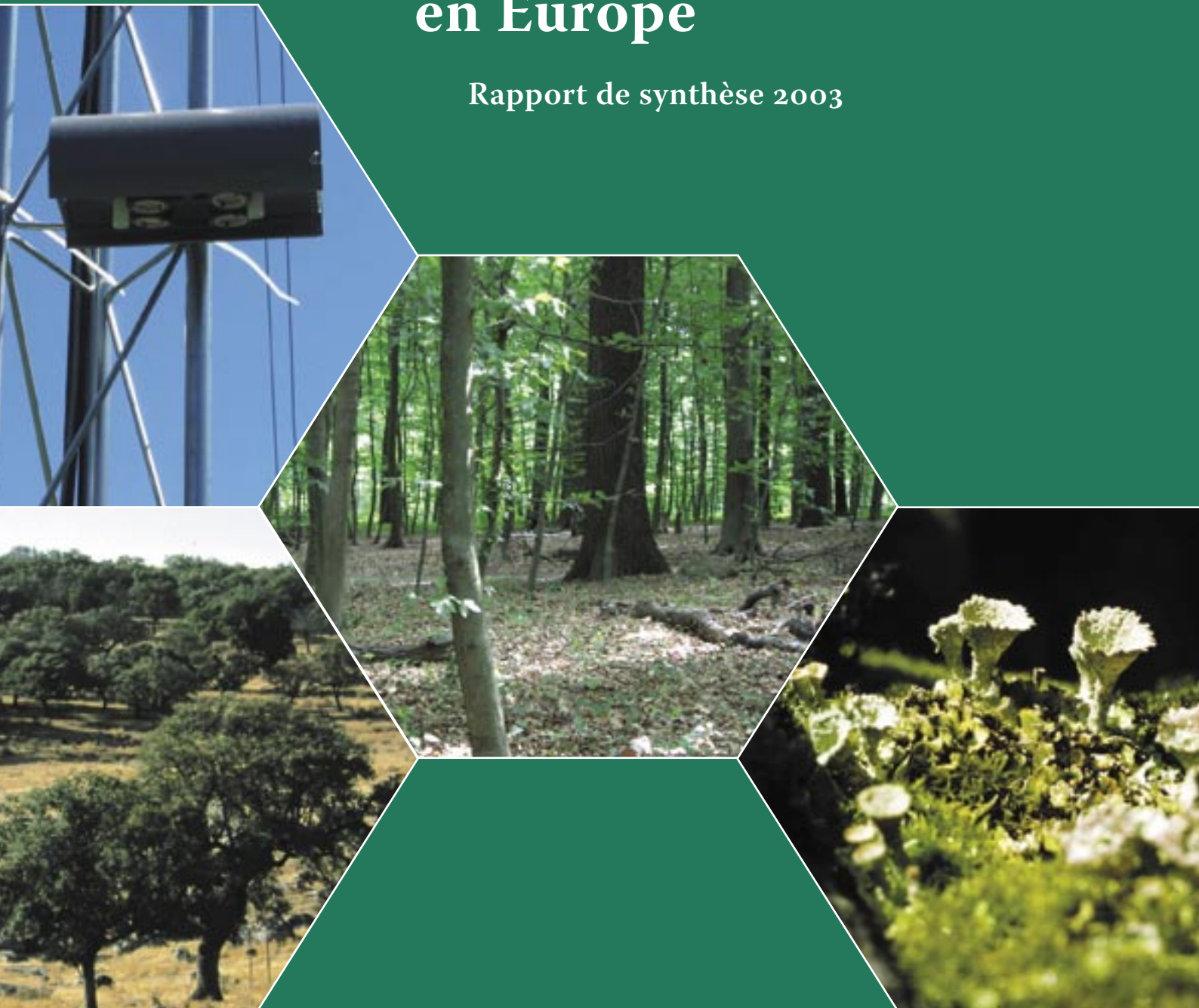


Nations unies - Commission économique pour l'Europe

Commission européenne

L'état des forêts en Europe

Rapport de synthèse 2003



Institut national
de la recherche forestière (BFH)

Les désignations employées et la présentation du contenu du présent rapport n'impliquent aucune prise de position du secrétariat des Nations unies, que ce soit à l'égard du statut légal des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités ou à l'égard de la délimitation de leurs frontières ou limites.

Les opinions exposées dans le présent rapport sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles de la Commission européenne.

Après approbation du Groupe de projet du PIC Forêts, le Groupe de travail sur les effets de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance a autorisé la diffusion du présent rapport.

L'ÉTAT DES FORÊTS EN EUROPE

Rapport de synthèse 2003

Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance:
programme international concerté sur l'évaluation et la surveillance des effets de
la pollution atmosphérique sur les forêts

Programme de l'Union européenne sur la protection des forêts contre la
pollution atmosphérique

Nations unies - Commission économique pour l'Europe

Commission européenne

Remerciements

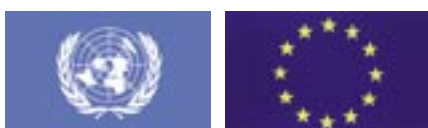
La Commission économique pour l'Europe des Nations unies et la Commission européenne tiennent à exprimer leurs remerciements à toutes les personnes et aux établissements qui ont contribué à la préparation du présent rapport, en particulier l'Institut national de la recherche forestière, le Centre de coordination du programme du PIC Forêts, ainsi que les centres de coordination nationaux pour les données communiquées ; et enfin,

R. Fischer (dir. pub., ch. 1+6+7), W. de Vries (ch. 3+5), E. Beuker (ch. 2.2), V. Calatayud (ch. 4), A. Fürst (ch. 2.3), K.-H. Häberle (ch. 4 - axe thématique), T. Haußmann (ch. 7), D.F. Karnosky (ch. 4 - axe thématique), G.H.M. Krause (ch. 4), P. Gundersen (ch. 5), M. Lorenz (résumé + ch.7), S. Luyssaert (ch. 2.3), R. Matyssek (ch. 4 - axe thématique), F.-J. Mayer (ch. 2 - axe thématique), S. Meining (ch. 2 - axe thématique), V. Mues (ch. 2.1), P. Neville (ch. 6), K.E. Percy (ch. 4 - axe thématique), M. Posch (ch. 3), T. Preuhsler (ch. 2.2), H. Raitio (ch. 2.3), G.J. Reinds (ch. 3+5), J.P. Renaud (ch. 6), M.J. Sanz (ch. 4), E.D. Schulze (ch. 5 - axe thématique), E. Vel (ch. 3+5).

TABLE DES MATIÈRES ET PRINCIPALES OBSERVATIONS

Préface p. 6

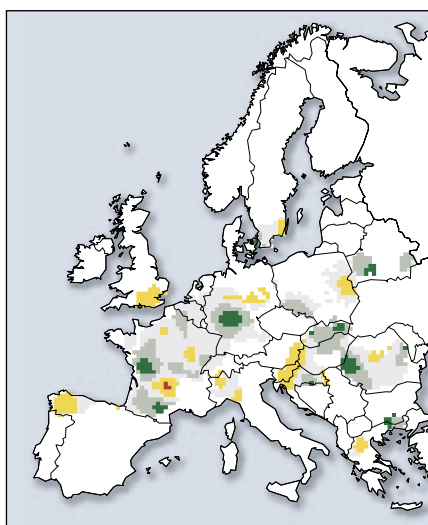
Résultats de dix-sept années de surveillance de l'état des forêts..... p. 8



1. Le système de surveillance paneuropéen p. 11

Le programme de surveillance conjoint de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (NU/CEE) et de l'Union européenne (UE) se fonde sur :

- 6 000 placettes de niveau I sélectionnées systématiquement,
- 860 placettes soumises à une surveillance intensive (niveau II) et
- 39 pays participants.



Évolution en cinq ans de la défoliation du chêne

2. État des forêts à grande échelle et réactions des arbres p. 13

Dix-sept années de surveillance à grande échelle ont révélé un processus ininterrompu de détérioration des couronnes, à l'exception d'une période de répit vers le milieu des années 1990. En 2002, environ 20 % des quelque 130 000 arbres échantillonnés en Europe ont été répertoriés comme modérément à sévèrement endommagés.

L'âge de l'arbre, des conditions atmosphériques extrêmes et des facteurs biotiques influencent la défoliation des couronnes. Des liens ont pu être établis entre la défoliation des principales essences et les apports atmosphériques de soufre.

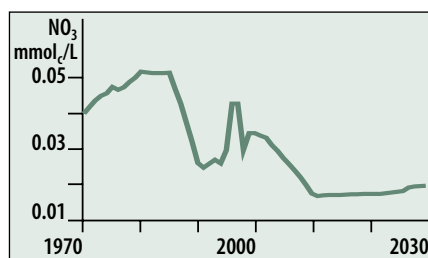
Une réduction des émissions de soufre se reflète dans la composition chimique des aiguilles des pins et des épicéas. Les arbres réagissent aux changements climatiques comme le prouve la modification des dates auxquelles se produisent le débourrement, la coloration du feuillage et la chute des feuilles.

2.1 État des couronnes en 2002 et évolution antérieure p. 13

L'état du sapin blanc (*Abies alba*)..... p. 18

2.2 La phénologie et les influences environnementales..... p. 20

2.3 La composition élémentaire des feuilles et des aiguilles en tant qu'élément révélateur des changements environnementaux p. 21



Simulation de concentrations d'azote

3. Pollution atmosphérique et simulation des impacts à long terme p. 22

Les dépôts les plus élevés d'azote et de soufre sont enregistrés sur les placettes forestières d'Europe centrale et orientale. Les analyses de scénarios des réductions d'émissions réalisées conformément aux conventions internationales montrent que les concentrations de sulfate dans la solution de sol resteront au bas niveau déjà enregistré en 2000 et que les concentrations en nitrates diminueront sur la plupart des placettes d'ici 2010.

4. Concentrations d'ozone dans les forêts p. 26
 Les concentrations d'ozone ont été particulièrement élevées dans les forêts du sud de l'Europe. Les dommages causés par l'ozone sont visibles sur la couronne de diverses essences en Europe. Les premiers résultats d'une phase test portant sur l'ozone montrent l'importance des activités de surveillance permanente menées dans le cadre du programme.

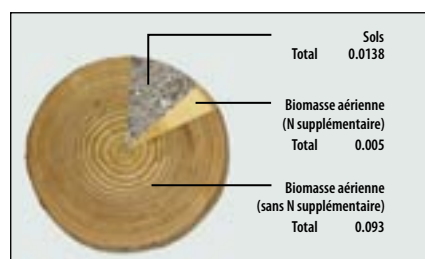
Ozone : situation globale, dommages causés aux couronnes et recherche p. 29



Dommages causés par l'ozone sur une feuille d'aulne

5. Piégeage du carbone et changement climatique p. 30
 L'assimilation de carbone (piégeage) dans les forêts peut ralentir la vitesse du changement climatique. Les résultats montrent que l'assimilation actuelle du carbone dans les forêts européennes passe essentiellement par une augmentation de la biomasse aérienne. Les apports d'azote par voie atmosphérique accélèrent la croissance de l'arbre, mais leur influence globale sur le piégeage du carbone est plutôt limitée.

Dioxyde de carbone : situation globale, implications, recherche et réactions politiques p. 33



Piégeage net annuel du carbone en Gtonne/ha/an

6. La biodiversité sur les placettes de surveillance intensive p. 35
 La base de données du programme contient des informations de qualité sur plusieurs aspects de la diversité biologique forestière, y compris la couverture vivante, les essences et la structure de peuplement. Ainsi a-t-on observé que l'espèce végétale *Galeopsis tetrahit*, par exemple, était surtout présente dans la couverture vivante des placettes aux dépôts d'azote élevés. Une phase test visant à initier des évaluations complémentaires et à obtenir des indices plus complets a été lancée.

7. Conclusions p. 38

Annexe p. 40



Chanvre sauvage (*Galeopsis tetrahit*)



Dr Heinz-Detlef Gregor

PRÉFACE

J'ai l'honneur de vous présenter le Rapport de synthèse 2003 sur l'état des forêts en Europe. Cette année aussi, le document aborde certains éléments importants des travaux effectués dans le cadre du réseau unique de coopération scientifique de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance NU/CEE et de la Commission européenne. Le Programme international concerté sur l'évaluation et la surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts (PIC Forêts), qui a été mis sur pied dans le cadre de cette Convention, vise à surveiller les effets de la pollution atmosphérique sur les forêts en recueillant des données complètes et comparables sur les changements qui interviennent dans les conditions environnementales actuelles et à déterminer les relations de cause à effet par le biais de la recherche et de la surveillance. Ce programme, qui est le plus grand jamais mené à bien sous les auspices du groupe de travail sur les Effets de la Convention, comprend entre autres le développement de méthodes harmonisées, la formation, la promotion d'échanges de données internes et externes, l'assurance qualité, l'orientation scientifique et le partenariat international.

Je me rends compte et apprécie pleinement que le programme de travail soigneusement planifié et exécuté du Groupe UE/PIC Forêts et sa coopération avec les cinq autres PIC ainsi qu'avec le Groupe de travail mixte sur les Effets pour la santé apportent la preuve scientifique nécessaire au soutien de politiques environnementales basées sur les effets pour l'Europe et la région de la CEE/NU et permettent aux milieux scientifiques, politiques et publics de mieux se rendre compte des effets de la pollution atmosphérique régionale. J'en profite également pour souligner l'aide généreuse qui a été accordée au programme forestier au titre du Programme de l'Union européenne sur la protection des forêts contre la pollution atmosphérique.

Le Rapport de synthèse 2003 est basé sur une série d'informations sur l'état des couronnes recueillies sur dix-sept années, qui révèlent une détérioration générale. Le rapport

était les liens qui existent avec la pollution atmosphérique et lie les changements phénologiques aux changements climatiques. Il apporte également la preuve que la récupération de l'écosystème forestier peut être très lente.

Les écosystèmes forestiers sont très complexes. Aussi est-il indispensable de disposer d'importants recueils de données et d'une surveillance permanente pour comprendre leur état et évaluer leur développement futur dans le cadre des scénarios environnementaux actuels et projetés. La richesse actuelle des données obtenues avec le concours de 37 pays européens et d'Amérique du Nord profite, du reste, aussi à l'ensemble des autres programmes régionaux et hémisphériques tels que le réseau est-asiatique EANET (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia) ou la collaboration avec le service Forêts du ministère de l'Agriculture des États-Unis (USDA).

Les activités menées au titre de la Convention se concentrent actuellement sur des préparations du processus de revue du protocole multipolluant-multieffet, dès que celui-ci entrera en action, et d'autres protocoles qui devraient entrer en vigueur dans quelques années. Les séries chronologiques semblables à celles qui ont été compilées dans le cadre du programme concerté UE/PIC Forêts ont une valeur très particulière, car elles retracent les évolutions qui sont intervenues dans l'état des écosystèmes surveillés à la suite de l'amélioration remarquable du « climat de pollution » dans la région de la CEE.

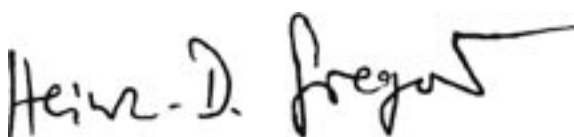
La coopération entre les PIC individuels est particulièrement importante à cet égard. Le Rapport de synthèse 2003 montre la coopération à grande échelle qui existe entre ce programme et les autres PIC au niveau de l'application des charges critiques et des modèles dynamiques, dans le domaine des relations de cause à effet, dans la description des signes visibles des dommages aux arbres forestiers causés par l'ozone, dans l'aide au développement d'approches basées sur le flux pour l'évaluation des effets de l'ozone sur les forêts et dans l'évaluation du modèle de dépôts.

L'avenir des activités de surveillance coordonnées par l'ensemble des PIC dépend des efforts déployés par leurs centres de coordination nationaux, du soutien fourni par les principaux pays et des contributions volontaires apportées par les parties en conformité avec le plan de travail pour la mise en œuvre de la Convention. La revue fructueuse des protocoles qu'il est prévu de poursuivre en 2004 ne peut être menée comme prévu que si tous les programmes continuent à fonctionner suivant le plan de travail. La réalisation en temps opportun de l'ensemble des tâches nécessite l'adoption d'un accord sur un instrument de financement stable pour les activités orientées sur les effets au titre de la Convention.

Je félicite le programme de l'UE/PIC Forêts pour la qualité de ce nouveau rapport. J'espère qu'il trouvera l'écho qu'il mérite auprès des décideurs politiques.

Compte tenu de la situation multipolluant, le programme va devoir inclure dans ses futures missions des délibérations sur la façon d'étendre l'utilisation de données en vue de réaliser des évaluations de risque cumulatives.

Le PIC Forêts, en coopération avec la Commission européenne, restera ainsi l'un des principaux instruments de coopération internationale basés sur la science et orientés vers la politique de la surveillance de l'environnement, et à ce titre, il aidera à résoudre des problèmes communs de pollution atmosphérique transfrontalière.



Dr Heinz-Detlef Gregor
Président du Groupe de travail sur les effets de la
Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière
à longue distance



Rivière et paysage forestier en Norvège



IMPACTS DES FACTEURS D'AGRESSION ENVIRONNEMENTAUX SUR LES FORÊTS EUROPÉENNES – RÉSULTATS DE 17 ANNÉES DE SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DES FORÊTS

L'état des forêts en Europe subit l'impact de nombreux changements environnementaux. Ceux-ci menacent la gestion forestière durable et mettent ainsi en péril les fonctions écologiques, économiques, sociales et culturelles des forêts. Il est essentiel que les politiques environnementales internationales sur les mesures préventives reposent sur une base scientifique solide. La surveillance intensive à long terme et à grande échelle de l'état des forêts contribue de manière décisive à l'élaboration de cette base scientifique.

Le programme de surveillance

Depuis dix-sept ans, la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (CEE/NU) et l'Union européenne (UE) surveillent ensemble l'état des forêts en Europe. Les variations à grande échelle de l'état des forêts dans l'espace et dans le temps sont évaluées en liaison avec divers facteurs naturels et anthropiques sur plus de 6 000 placettes réparties dans toute l'Europe. Cette intensité de surveillance à grande échelle est dite de « niveau I ». Les différentes

relations de cause à effet sont étudiées en détail sur 860 placettes soumises à une surveillance intensive qui couvrent les principaux écosystèmes forestiers européens. Cette surveillance intensive est dite de « niveau II ». Ces deux niveaux de surveillance sont complémentaires. Compte tenu du grand nombre de placettes et de paramètres observés, ce programme, qui réunit 39 pays, met en œuvre l'un des plus grands réseaux de contrôle biologique du monde.

État des couronnes

L'état des couronnes est un indicateur rapide de réaction à divers facteurs environnementaux influant sur la vitalité des arbres. Dix-sept années de surveillance à grande échelle ont révélé un processus ininterrompu de détérioration des couronnes, à l'exception d'une période de répit vers le milieu des années 1990. En 2002, environ 20 % des quelques 130 000 arbres échantillonnés en Europe ont été répertoriés comme modérément à sévèrement défoliés. L'impact des nombreux facteurs sur l'état des couronnes varie considéra-

blement dans l'espace et le temps. Des statistiques multivariées et des analyses géostatistiques étudient le lien entre les tendances observées au niveau de l'état des couronnes et les principaux facteurs anthropiques. Les évaluations statistiques décrites dans le présent rapport confirment ce que l'on avait déjà observé antérieurement : les variations de la défoliation sont principalement liées à l'âge de l'arbre, aux phénomènes climatiques extrêmes, à des facteurs biotiques et à la pollution atmosphérique. Les effets des conditions climatiques sont également révélés par les changements observés dans le développement phénologique de l'arbre, c'est-à-dire les variations intervenant dans les dates auxquelles se produisent le débourrement, la coloration du feuillage et la chute des feuilles. Il existe, en outre, une corrélation prouvée entre la défoliation des principales essences et les dépôts de soufre.

Pollution atmosphérique

Comme le prévoit son mandat politique, le programme accorde une atten-



Formation forestière claire de chênes verts « Montado / Dehesa » au Portugal

tion particulière à l'étude des effets de la pollution atmosphérique. Celle-ci peut avoir un impact préjudiciable sur les écosystèmes forestiers bien avant que le dommage devienne visible en se manifestant, par exemple, par la défoliation. Les précédentes études menées dans le cadre du programme ont établi des liens entre l'état des sols forestiers et les dépôts atmosphériques. Les accumulations d'azote sont apparues comme étant la première cause d'acidification potentielle des sols. Les charges critiques des dépôts d'azote, d'acidité et de métaux lourds, sont dépassées sur un grand nombre de placettes soumises à une surveillance intensive, ce qui suggère un risque accru pour les écosystèmes forestiers. Les dépôts de soufre ont, par contre, diminué ces dernières années, et le présent rapport fournit la preuve d'une réduction de la concentration de soufre dans les aiguilles de l'épicéa commun et du pin sylvestre. Il s'agit d'une belle réussite des réductions drastiques des émissions de soufre qui ont été réalisées en Europe dans le cadre de la Convention sur la pollution atmos-

phérique transfrontalière à longue distance (CPATLD) de la CEE/NU. Huit accords contraignants (protocoles), fixant des plafonds nationaux d'émissions pour les principaux contaminants atmosphériques ont été adoptés dans le cadre de la CPATLD. Signé à Göteborg, en Suède, en 1999, le dernier d'entre eux, dit « protocole de Göteborg », vise à réduire les émissions de soufre d'au moins 63 % et celles de NO_x de 41 % par rapport aux niveaux de 1990.

Il est important de connaître les types de bienfait que les mesures individuelles de contrôle des émissions permettent d'escompter. Le présent rapport dévoile pour la première fois les résultats d'analyses de scénarios basés sur des hypothèses de réductions futures d'émissions calculées en fonction du protocole de Göteborg. Ces analyses reposent sur des modèles dynamiques qui simulent les réactions de la chimie du sol à des conditions environnementales variables. Les résultats montrent que les réductions d'émissions auxquelles on peut s'attendre se traduisent par une récupération comparativement ra-

pide de la solution de sol. Les concentrations de sulfate dans la solution resteront au bas niveau déjà enregistré en 2000. Les concentrations de nitrates devraient diminuer sur la plupart des placettes d'ici 2010, en particulier sur celles qui présentent actuellement des concentrations élevées d'azote. La récupération de la phase solide du sol prendra nettement plus de temps.

L'ozone troposphérique est l'un des principaux polluants atmosphériques qui affectent directement les forêts par les feuilles et les aiguilles. Les premières mesures exécutées dans le cadre du programme confirment que les concentrations d'ozone sont surtout élevées dans le sud de l'Europe. L'évaluation des dommages visibles causés par l'ozone, qui a été menée au titre du programme, sera développée pour devenir l'unique système de surveillance des effets dans les forêts existant à une échelle européenne. De premiers résultats révèlent que les dommages causés par l'ozone s'observent également sur le hêtre commun en Europe centrale.



Forêt de pins sylvestres en Norvège

Piégeage du carbone

Le réchauffement de la planète est attribué aux concentrations croissantes de gaz à effet de serre et en particulier de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. Le programme de surveillance aide à comprendre dans quelle mesure le piégeage du carbone dans les forêts permet de réduire la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Selon certains résultats, le stockage de carbone dans les arbres est actuellement cinq à sept fois aussi élevé que dans le sol. Des extrapolations à l'ensemble de la superficie forestière d'Europe, corrigées de façon à tenir compte des suppressions de carbone liées aux récoltes et aux incendies de forêt, donnent un taux moyen de 0,1 gigatonne par an. Il est prouvé que les dépôts d'azote améliorent le piégeage du carbone d'environ 5 % en stimulant la croissance des forêts. On estime que la gestion forestière a un effet prononcé sur le piégeage du carbone.

Biodiversité

Les activités de surveillance actuelles fournissent des informations sur plusieurs aspects de la biodiversité des forêts. Le rapport de l'année dernière a montré l'influence des dépôts atmosphériques sur la couverture vivante. Le rapport de cette année-ci donne, pour sa part, des informations sur la situation structurelle des peuplements dans les bases de données du niveau II. Des méthodes d'évaluation complémentaires et des calculs d'indice seront mis au point lors d'une phase test organisée par le PIC Forêts, qui démarrera en 2003.

Orientations futures

La surveillance des forêts en Europe continuera à offrir une base scientifi-

que en vue de l'adoption de politiques atmosphériques propres dans le cadre de la CEE/NU et de l'UE. Compte tenu des premiers succès enregistrés par les politiques « air propre », les futures tâches du programme consisteront à vérifier les effets du contrôle des émissions. L'infrastructure bien établie, son approche pluridisciplinaire de la surveillance et sa base de données très complète du programme lui permettront toutefois de contribuer aussi de manière significative aux travaux entrepris dans d'autres domaines de la politique environnementale internationale.

Le programme poursuit déjà les objectifs arrêtés dans plusieurs résolutions de la Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe (MCPFE) et apporte des informations sur certains de ses indicateurs quantitatifs de gestion durable des forêts. Il contribue également activement au Forum des Nations Unies sur les forêts (UNFF). Les résultats attendus sur la biodiversité forestière seront importants pour la mise en œuvre de la Convention sur la diversité biologique (CDB) et contribueront au processus « Un environnement pour l'Europe » et à la stratégie paneuropéenne de la diversité biologique et paysagère (PEBLDS) connexe.

Par la possibilité qu'il offre de contribuer à l'évaluation du piégeage du carbone dans les forêts, le programme soutiendra le Protocole de Kyoto et la Convention-cadre sur les changements climatiques. Il suscite, en outre, l'intérêt grandissant d'instituts de recherche et de responsables politiques non européens, comme en témoigne la coopération récente avec les programmes de surveillance des forêts des Canadiens et des Américains dans le domaine de

l'évaluation des charges critiques. Un autre exemple est la discussion portant sur l'applicabilité des approches de surveillance des forêts européennes aux forêts est-asiatiques dans le cadre d'EANET (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia).

Pour plus d'informations, consulter les sites :

<http://www.icp-forests.org> (PIC Forêts)

<http://europa.eu.int/comm/agriculture>
(Commission européenne)

<http://www.fimci.nl> (Centre de coordination de la surveillance intensive des forêts)



Sorbier des oiseleurs

1. LE SYSTÈME DE SURVEILLANCE PANEUROPÉEN

Introduction et rappel des principaux faits

Les forêts couvrent environ un tiers de la superficie de l'Europe et sont, sur de grandes zones, l'écosystème le plus naturel du continent. Les forêts européennes ont parallèlement des valeurs économiques et sociales élevées qu'il convient de préserver dans l'intérêt de la qualité de vie de chacun d'entre nous.

L'état actuel des forêts est le résultat d'interactions continues de plusieurs siècles entre l'homme et la nature. Les politiques environnementales internationales et la gestion des forêts se fondent sur une base scientifique solide pour prendre des mesures qui influenceront les écosystèmes forestiers de demain. La surveillance intensive à long terme et à grande échelle de l'état des forêts est un élément décisif de cette base scientifique.

Le système de surveillance conjoint que l'on utilise actuellement trouve son origine dans les années 1980, période à laquelle on observa une détérioration sévère de l'état des forêts dans de grandes zones d'Europe. Pour répondre à

l'inquiétude croissante et lever les doutes quant à la responsabilité de la pollution atmosphérique dans ce déclin, le Programme international concerté sur l'évaluation et la surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts (PIC Forêts) a été institué en 1985, dans le cadre de la Convention NU/CEE sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance (CLRTAP). En 1986, l'Union européenne a adopté le programme de protection des forêts contre la pollution atmosphérique, et a jeté les bases juridiques du cofinancement des évaluations par le Règlement du Conseil (CEE) n° 3528/86. Aujourd'hui, 39 pays participent au programme de surveillance paneuropéen.

Objectifs du programme

Le programme de surveillance poursuit les objectifs suivants :

- dresser un bilan périodique de la variation spatiale et temporelle de l'état des forêts au regard des facteurs d'agression anthropiques (en particulier la pollution atmosphérique) ainsi que des facteurs d'agres-

sion naturels sur un réseau systématique à grande échelle européenne et nationale (niveau I);

- contribuer à une meilleure compréhension des rapports entre l'état des écosystèmes forestiers et les facteurs d'agression, en particulier la pollution atmosphérique, en procédant à la surveillance intensive d'un certain nombre de placettes permanentes d'observation réparties à travers l'Europe (niveau II);
- contribuer au calcul des niveaux et charges critiques et de leur dépassement dans les forêts;
- collaborer avec d'autres programmes de surveillance environnementale afin de fournir des informations sur d'autres aspects importants tels que le changement climatique et la biodiversité dans les forêts, et contribuer ainsi à la gestion durable des forêts européennes;
- réunir des informations sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers et fournir des informations pertinentes aux décideurs politiques et au public.

| Études menées | Niveau I | | Niveau II | |
|------------------------------|--------------|----------------------|--|----------------------|
| | Fréquence | Nombre de placettes | Fréquence | Nombre de placettes |
| État de la couronne | annuellement | toutes les placettes | une fois par an | toutes les placettes |
| Chimie foliaire | une fois | 1497 placettes | tous les 2 ans | toutes les placettes |
| Chimie du sol | une fois | 5289 placettes | tous les 10 ans | toutes les placettes |
| Chimie de la solution de sol | | | continuellement | quelques placettes |
| Croissance des arbres | | | tous les 5 ans | toutes les placettes |
| Couverture vivante | | | tous les 5 ans | toutes les placettes |
| Dépôts atmosphériques | | | continuellement | quelques placettes |
| Qualité de l'air ambiant | | | continuellement | quelques placettes |
| Conditions météorologiques | | | continuellement | quelques placettes |
| Phénologie | | | plusieurs fois par an | éventuellement |
| Télédétection | | | de préf. à l'installation de la placette | éventuellement |

Tableau 1-1 : études menées au niveau I et au niveau II

Conception de la surveillance

Afin de poursuivre ces principaux objectifs, un réseau de surveillance systématique à grande échelle (niveau I) et un programme de surveillance intensive des forêts (niveau II) ont été instaurés (tableau 1-1).

La puissance du réseau de niveau I réside dans sa représentativité et dans la surface couverte par ses quelque 6 000 placettes permanentes, réparties sur l'ensemble du territoire européen selon un maillage de 16 x 16 km. Sur ce réseau, on procède chaque année à des évaluations de l'état des couronnes, ainsi qu'à des inventaires pédologiques ou foliaires sur certaines parties des placettes.

Dans le cadre de la surveillance de niveau II, plus de 860 placettes ont été établies en vue de procéder à des examens approfondis des écosystèmes forestiers les plus importants dans les différents pays participants. Sur ces sites, on mesure un plus grand nombre de facteurs clés ; les données recueillies permettent de mener des études de cas pour les combinaisons d'essences et de sites les plus courantes. Les dernières

modifications apportées aux études en cours intègrent des phases test de mesures d'ozone et d'évaluation des dommages causés par celui-ci, ainsi que des contributions potentielles aux évaluations de la biodiversité forestière.



2. ÉTAT DES FORÊTS À GRANDE ÉCHELLE ET RÉACTIONS DES ARBRES À L'ENVIRONNEMENT CHANGEANT

2.1 État des couronnes en 2002 et évolution antérieure

Résumé

- Plus de 20 % des 130 000 arbres évalués en 2002 ont été répertoriés comme endommagés. Les arbres observés depuis le début de l'inventaire témoignent d'un processus ininterrompu de détérioration entre 1986 et 1995. Après un net répit au milieu des années 90, le processus a repris, mais moins intensément.
- Les évaluations approfondies portant sur le pin sylvestre et le chêne commun montrent qu'il n'existe pas de tendance uniforme de défoliation en Europe, mais plutôt une variation de l'état des couronnes en fonction des régions.
- Les précipitations particulièrement importantes ou faibles, les attaques d'insectes ou de champignons et la pollution atmosphérique sont mises en corrélation avec l'état des couronnes.

Introduction

Le programme donne une vue d'ensemble régulière de l'état de la forêt en Europe sur un réseau de surveillance systématique à grande échelle au maillage de 16 x 16 km. L'inventaire annuel à grande échelle de l'état des couronnes est le principal outil du programme. Dans cet inventaire, la perte de feuilles ou d'aiguilles sur chaque arbre échantillonné est considéré comme défoliation. En 2002, plus de 130 000 arbres répartis sur quelque 6 000 placettes permanentes dans 30 pays européens ont été évalués par des méthodes harmonisées, des évaluations complémentaires sur des réseaux plus denses ayant été réalisées dans plusieurs d'entre eux.

Liée à de nombreux facteurs d'agression, la défoliation constitue un indicateur très utile de l'état général des forêts. Des statistiques multivariées sont utilisées à grande échelle pour révéler les liens qui existent entre les facteurs d'agression et l'état de la couronne des arbres. Le présent rapport se concentre sur les évaluations appro-

fondies de l'épicéa commun ainsi que du chêne pédonculé et du chêne rouvre en suivant le même modèle de présentation que celui qui avait été adopté pour le pin sylvestre et le hêtre commun dans le rapport de l'année précédente. L'axe thématique consacré à l'état du sapin blanc reflète l'opinion et l'expérience des experts nationaux en rapport avec une essence spécifique et s'inscrit dans la série des études consacrées au chêne vert, au pin d'Alep et au hêtre commun les années précédentes.

Les forêts sont des écosystèmes complexes et les influences environnementales peuvent être suivies à différents niveaux comme le montrent clairement les résultats d'analyses chimiques foliaires et d'observations phénologiques.

Résultats à grande échelle

En 2002, 21,3 % de tous les arbres évalués ont été répertoriés comme modérément à sévèrement défoliés, voire morts. L'état des couronnes était légèrement meilleur dans les États membres de l'UE qu'en Europe dans son ensemble.

Méthodes

Les analyses de la variation temporelle et spatiale de l'épicéa commun ainsi que du chêne pédonculé et du chêne rouvre se rapportent aux placettes de niveau I sur lesquelles au moins trois épicéas ou trois chênes ont été étudiés en continu de 1997 à 2002. Les influences multiples ont été calculées pour la période d'évaluation de 1994 à 1999, étant donné qu'on ne disposait d'aucune donnée sur les dépôts ultérieurs.

Niveaux de défoliation : les estimations sur site de la défoliation, qui sont faites dans toute l'Europe, varient fortement selon l'âge des peuplements (les arbres vieux sont généralement plus atteints) et le pays où se trouve la placette de niveau I (les méthodes d'évaluation peuvent parfois varier d'un pays à l'autre). Les niveaux de défoliation présentés ici ont donc été évalués en tant que différence entre les estimations sur site et les valeurs issues des modélisations, qui tiennent compte des variables « âge de peuplement » et « pays » et en neutralisent l'influence.

L'évolution de la défoliation sur chaque placette a été calculée en tant que gradient linéaire d'une régression de toutes les moyennes annuelles enregistrées entre 1997 et 2002. L'âge des arbres et le pays n'ont eu qu'une influence négligeable sur l'évaluation des tendances temporelles.

La méthode de géostatistique appelée « krigage » a servi à interpoler les niveaux et les tendances de défoliation, à partir des placettes de niveau I utilisables.

Des modèles à plusieurs variables ont été utilisés pour expliquer la défoliation (1994 à 1999) induite par différents facteurs d'environnement. Des données externes ont été utilisées pour les dépôts et les précipitations. On peut parler d'action dommageable probable quand il y a concomitance entre une défoliation sévère et certains facteurs d'agression.

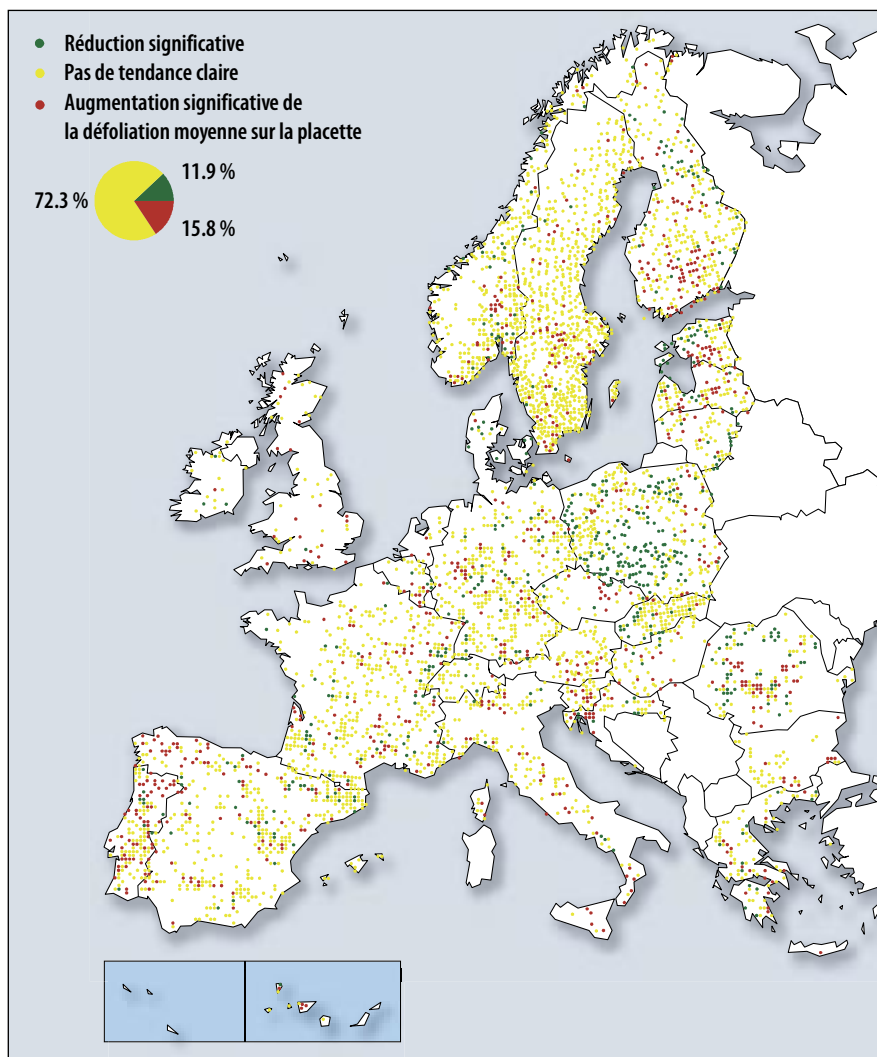


Figure 2-1 : évolution de la défoliation pour l'ensemble des essences. Les tendances linéaires observées sur les placettes entre 1997 et 2002 ont été soumises à des tests de signification. Pour la France, l'Italie et la Suède, la période d'évaluation va de 1997 à 2002.



Des cours d'interétalonnage internationaux sont organisés dans le cadre du programme de contrôle de qualité des données relatives à l'état des couronnes. À cette occasion, des chefs d'équipe nationaux provenant de différents pays se rencontrent dans les forêts et évaluent le même échantillon d'arbres.

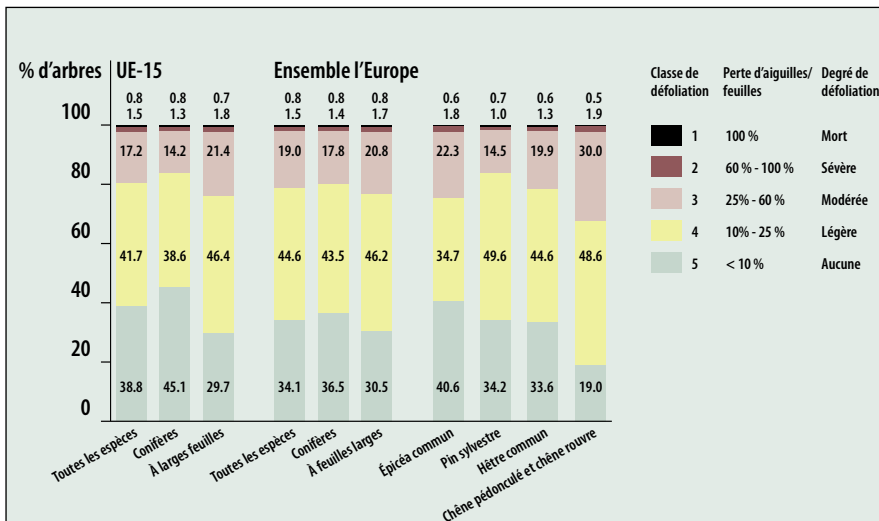


Figure 2-2 : pourcentage d'arbres par classe de défoliation pour les trois essences principales. Ensemble de l'Europe et UE, 2002

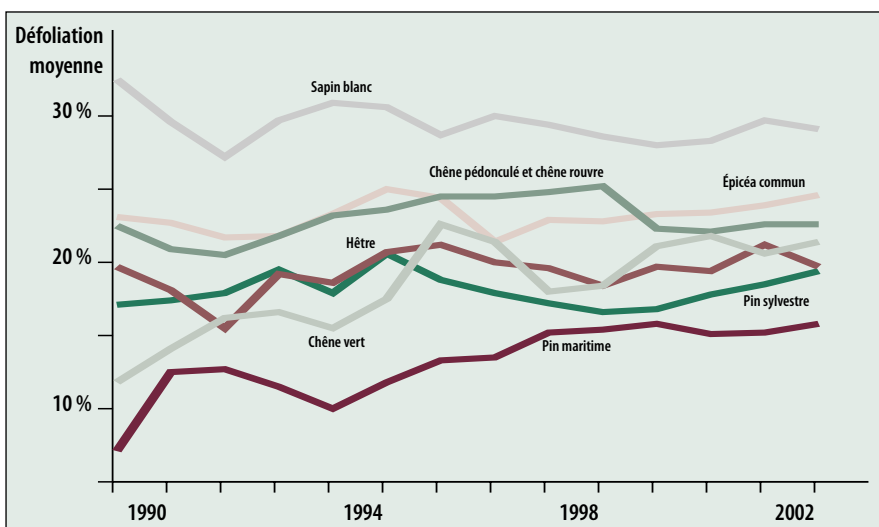


Figure 2-3 : évolution de la défoliation moyenne des principales essences européennes calculée pour les arbres sous surveillance permanente. Les échantillons comprennent entre 1 237 individus pour le chêne pédonculé et le chêne rouvre et 2 988 pour l'épicéa (sapin blanc : 289 arbres).

Sur les quatre essences les plus fréquentes sur les placettes, le chêne pédonculé et le chêne rouvre présentaient la plus forte défoliation (figure 2-2).

Un échantillon d'arbres soumis à une surveillance permanente a servi à étudier l'évolution de la défoliation dans le temps. Les sapins blancs faisant l'objet d'une surveillance permanente ont montré le degré de défoliation le plus élevé jamais observé jusqu'ici. D'une manière générale, les valeurs de défoliation moyennes ont considérablement fluctué (figure 2-3). S'agissant du pourcentage total d'arbres endommagés ou morts (classes de défoliation 2 à 4), le record a été atteint en 1995 (25,6 %) avec une diminution les deux années suivantes (non illustré). Depuis lors, une aggravation constante quoique lente de la situation est enregistrée.

La cartographie par placettes des différentes essences (figure 2-1) montre que les placettes où la défoliation moyenne s'est significativement aggravée entre 1994 et 2002 sont plus nom-

breuses (15,8 %) que celles où elle a régressé (11,9 %). Les placettes marquées par une détérioration de la couronne sont regroupées le long de la côte nord-ouest de la péninsule ibérique, dans le sud de la Finlande et de l'Estonie, dans la région alpine d'Autriche, ainsi qu'en Slovénie et en Croatie. Les régions où la situation sur les placettes s'améliore essentiellement sont le sud de la Pologne et la côte estonienne.

Épicéa commun

En Norvège centrale, la défoliation moyenne de l'épicéa est relativement importante (figures 2-4 et 2-5). La situation est principalement due à la rouille des aiguilles et au pourridié. Les dommages ont été particulièrement importants suite à l'agression par les conditions climatiques. La situation s'est légèrement améliorée au cours des cinq dernières années. La défoliation s'aggrave dans de grandes parties de la Suède depuis 1997 pour les mêmes raisons très probablement que celles qui expliquent

la défoliation en Norvège. Tandis qu'une amélioration de la situation a été enregistrée en Biélorussie, une dégradation a, par contre, été observée sur la plupart des placettes en région baltique et dans le sud de l'Allemagne.

Chêne pédonculé et chêne rouvre

Une grande variation tant de la défoliation moyenne que de son évolution dans le temps a été observée sur les chênes caduques (figures 2-6 et 2-7). Malgré quelques améliorations dans le sud et l'ouest du pays, la défoliation dans certaines régions de France était plutôt élevée sans qu'aucune cause uniforme pour l'ensemble du pays n'ait pu être identifiée. L'amélioration à grande échelle qui a été observée dans le centre de l'Allemagne a été expliquée par une reprise des chênes après des années d'endommagement sévère lié à des agressions par des insectes.

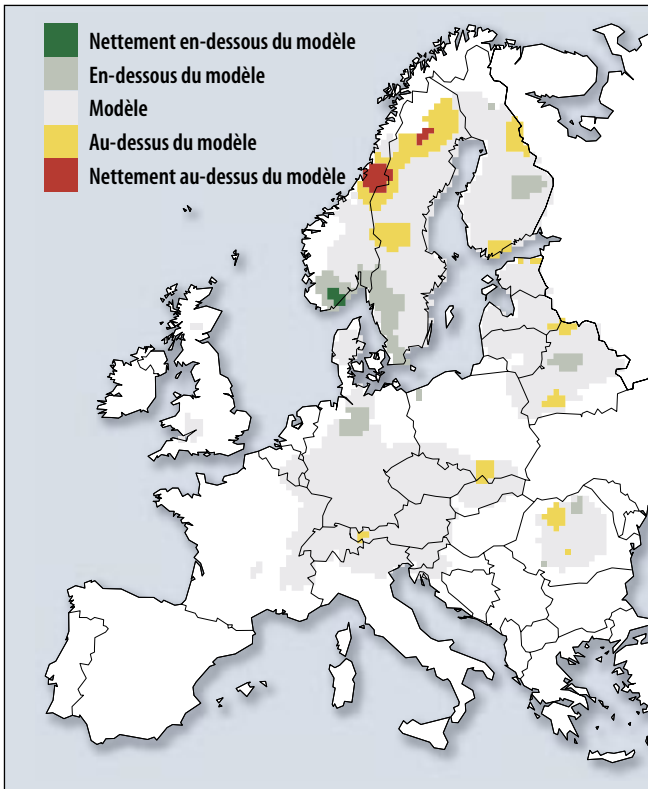


Figure 2-4 : défoliation de l'épicéa commun. Différences entre la défoliation moyenne à moyen terme et la valeur de référence. Interpolation à partir de 1 461 placettes évaluées en permanence de 1997 à 2002

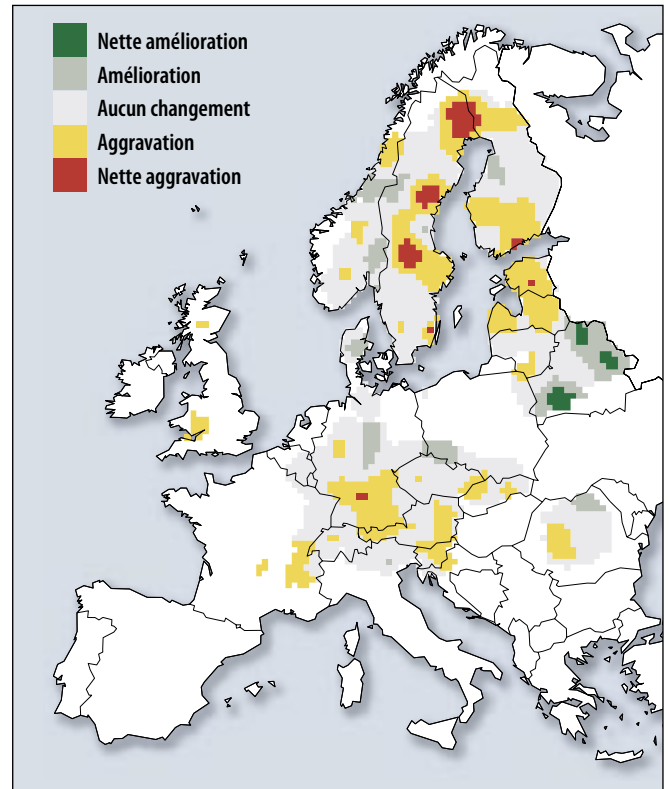


Figure 2-5 : tendances temporelles de la défoliation moyenne de l'épicéa commun. Interpolation à partir de 1 461 placettes évaluées en permanence de 1997 à 2002

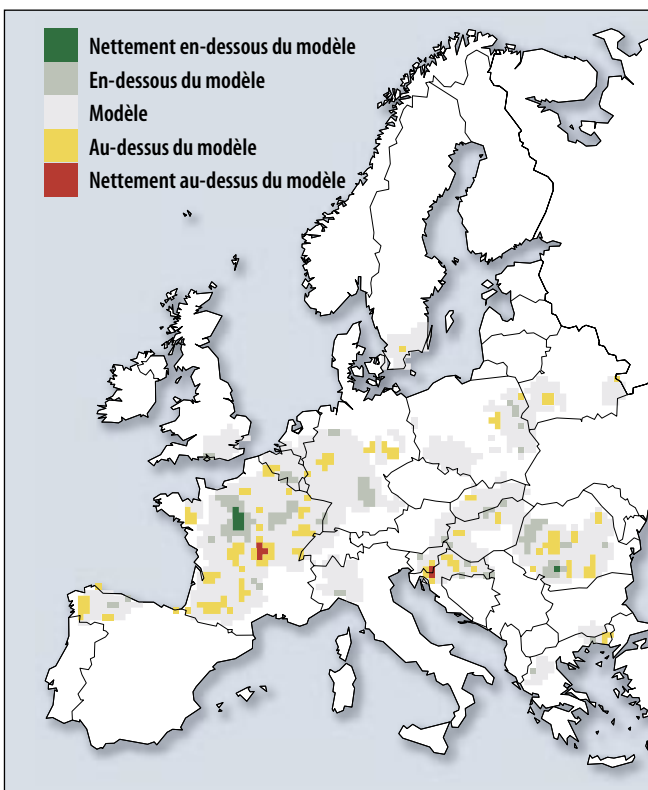


Figure 2-6 : défoliation du chêne pédonculé et du chêne rouvre. Différences entre la défoliation moyenne à moyen terme et la valeur de référence. Interpolation à partir de 503 placettes évaluées en permanence de 1997 à 2002

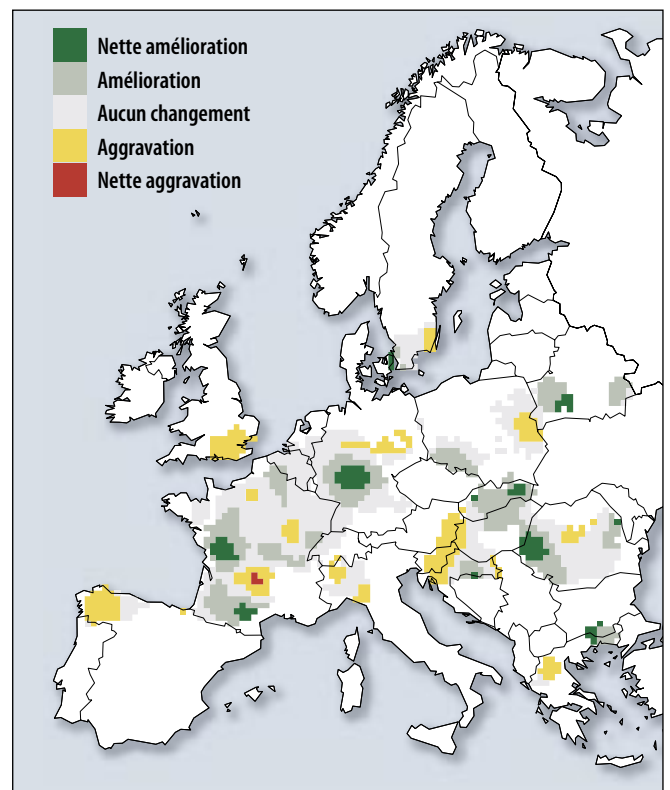


Figure 2-7 : tendances temporelles de la défoliation moyenne du chêne pédonculé et du chêne rouvre ; interpolation à partir de 503 placettes évaluées en permanence de 1997 à 2002.

| | Variation spatiale | | Variation temporelle | |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | Épicéa | Chêne | Épicéa | Chêne |
| R² | 58.7 | 43.1 | 40.8 | 43.8 |
| Nombre de placettes | 1046 | 291 | 1046 | 291 |
| Précip. de l'année en cours | - | - | - | - |
| Précip. de l'année antérieure | | | - | - |
| Insectes | + | ++ | + | + |
| Champignons | + | -- | - | + |
| Dépôts | S année en cours | + | + | + |
| | NH ₄ année en cours | + | - | + |
| | NO ₃ année en cours | -- | | + |
| | S année précédente | | | - |
| | NH ₄ année précédente | | | - |
| | NO ₃ année précédente | | | - |
| Année | | | o | o |
| Âge corrigé par pays | oo | oo | | |
| Pays | oo | oo | | |

Tableau 2-1 : relations entre la variation temporelle et spatiale de la défoliation du chêne pédonculé et du chêne rouvre et diverses variables explicatives issues d'analyses de régression linéaires multiples. La valeur R² indique le pourcentage de variance expliquée par le modèle.

- corrélation négative
-- corrélation négative significative
+ corrélation positive
++ corrélation positive significative
o corrélation
oo corrélation significative

Influences multiples sur l'état des couronnes

Des modèles linéaires multiples ont confirmé qu'en Europe, l'état des couronnes est influencé par les conditions climatiques, les insectes et les dépôts atmosphériques (tableau 2-1). Les évaluations ont montré une corrélation entre un niveau élevé de précipitation et des couronnes relativement saines. Les observations qui ont été faites pour l'épicéa commun et le chêne caduque soutiennent les résultats qui ont été présentés pour le pin sylvestre et le hêtre commun dans le rapport de l'année précédente. L'influence des dommages causés par les insectes s'est également reflétée de manière cohérente dans les évaluations statistiques relatives aux quatre principales essences. Les attaques de champignons ont montré des variations. Les dépôts de soufre (S) de l'année en cours ont été mis en relation de façon cohérente avec une défoliation sévère ou croissante. Une tendance linéaire reflète une évolution que les autres prédicteurs du modèle ne peuvent expliquer. Toutefois, comme le montrent les cartes, la tendance en Europe n'était pas uniforme, mais plutôt marquée par des con-

ditions variables sur diverses placettes. L'âge et le pays se sont révélés pertinents en tant que facteurs causaux pour expliquer la variation spatiale, mais ils n'ont eu aucune influence sur les évaluations de la tendance temporelle.



Le sapin blanc dominait la forêt montagnaise mixte en Allemagne.

L'ÉTAT DU SAPIN BLANC (*ABIES ALBA*)

Résumé

- Les dommages répandus observés sur le sapin blanc au cours des années 1970 ont conduit à l'installation des premières placettes de surveillance permanente. Celles-ci ont ensuite été intégrées dans l'actuel réseau transnational de surveillance de l'état des forêts.
- Le sapin blanc compte toujours parmi les essences les plus endommagées puisque plus de 40 % des arbres surveillés en permanence sont atteints et qu'une légère amélioration ne s'est dessinée que ces dernières années seulement.
- De nombreuses études ont montré la sensibilité de cette essence à la pollution atmosphérique. Les facteurs d'agression naturels tels que la sécheresse jouent également un rôle important. Une particularité de cette essence est son envahissement par le gui.

Introduction

Les dommages très répandus au sapin blanc (*Abies alba*) furent parmi les premiers enregistrés dans le contex-

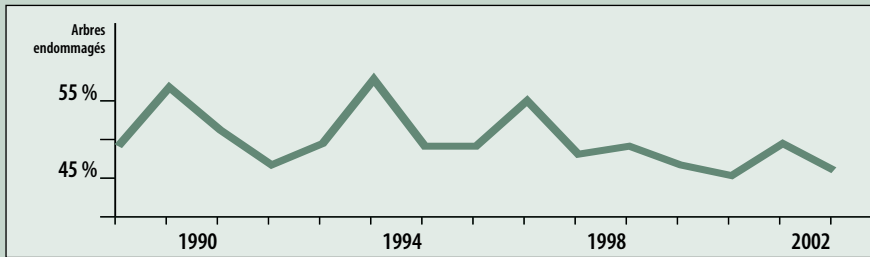
te du fameux « Waldsterben » (déclin des forêts) dans le sud de l'Allemagne et en Europe centrale au cours des années 1970. Le terme « Tannensterben » (déclin du sapin) fut initialement utilisé, mais l'on se rendit rapidement compte que le phénomène touchait davantage d'essences. Au vu de cette évolution, les séries chronologiques régionales sur l'état de la couronne des sapins blancs sont probablement les plus longues dont on dispose actuellement pour un grand nombre de placettes.

La couverture naturelle du sapin blanc s'étend sur l'ensemble des régions montagneuses humides du centre et du sud de l'Europe. Tolérant relativement bien l'ombre, l'essence se rencontre de façon typique dans des forêts montagneuses mixtes où elle forme avec l'épicéa commun, le hêtre commun et le platane occidental des peuplements structurés riches en espèces végétales. En Europe centrale, l'essence se retrouve jusqu'à une altitude de 1 200 m. Il n'y a que dans les régions méridionales comme les Pyrénées qu'il croît également à plus haute altitude. Pour se

développer dans des conditions optimales, l'essence a besoin de sites bien drainés avec un apport modéré en au moins un nutriment. Sa racine pivotante lui permet de s'installer dans des sols compactés et hydromorphes. On le retrouve exceptionnellement sur des terres très acidifiées.

Évolution des dommages au sapin blanc

Des rapports détaillés faisant état de dommages subis par le sapin blanc et donnant une description spécifique des symptômes furent déjà élaborés au début du 20^e siècle. La détérioration de cette essence fut à nouveau observée vers le milieu des années 1960, dans le sud de l'Allemagne pour commencer, et dans d'autres régions européennes par la suite. La dégradation s'aggrava particulièrement en 1976, une année marquée par un taux de précipitations extrêmement bas. C'est aussi dans ces régions que les émissions de dioxyde de soufre les plus élevées ont été rapportées vers le milieu des années 1970, et un lien entre la pollution atmosphérique à



Pourcentage de sapins blancs endommagés (évaluation continue depuis 1988) sur le réseau de niveau I (classes de défoliation 2 à 4, > 25 % de défoliation)

longue distance et la détérioration de l'état des couronnes a été suspecté pour la première fois.

L'inquiétude concernant la détérioration du fonctionnement de l'écosystème a conduit à l'installation de placettes de surveillance permanente afin de documenter l'évolution et d'analyser les causes des symptômes observés.

Résultats de la surveillance

Plus de 2 000 sapins blancs font actuellement l'objet d'évaluations sur le réseau transnational de surveillance à grande échelle du programme. La France, la Roumanie et l'Allemagne sont les pays où l'on a recensé le plus grand nombre de spécimens de cette essence dans la base de données. Depuis 1988, l'essence est l'une des plus endommagées qui soit, le pourcentage d'arbres atteints étant inlassablement supérieur à 45 % (cf. également figure 2-3). La part d'arbres malades était particulièrement élevée en 1989, 1993 et 1996. Depuis lors, une légère reprise a été observée. Les tendances temporelles régionales montrent des dommages encore plus élevés avant 1988 avec une défoliation notable avant 1986.

Facteurs d'agression et régénération

De façon étonnante, les tendances régionales suivent la même évolution sur

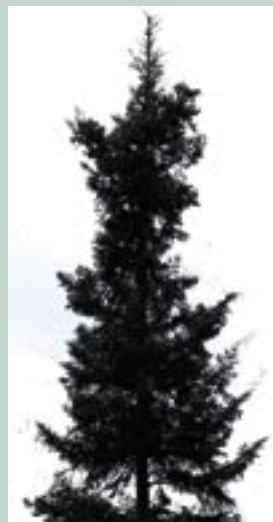
de nombreuses placettes, indépendamment de leur implantation et du type de site. Ceci suggère que l'état de santé de l'essence ne dépend pas seulement des influences locales, mais aussi de facteurs d'agression de longue distance. On sait à présent que le sapin blanc est sensible aux apports atmosphériques de sulfate. Des études montrent que sa croissance est modifiée par la réduction des émissions de dioxyde de soufre. Les recherches effectuées dans les années 1980 ont également indiqué des effets dommageables liés aux champignons du sol. Les facteurs climatiques tels que les sécheresses ont aussi eu une influence significative sur l'état de santé des essences. Les peuplements trop denses ont de plus en plus tendance à décliner.

Une relation claire a également été établie entre la défoliation et la présence d'un envahissement par le gui (*Viscum album*). Des études portant sur les sapins envahis montrent que le gui ne colonise pas forcément les sapins fortement endommagés. L'infection de couronnes relativement saines engendre toutefois un affaiblissement continu.

Les résultats de la surveillance à long terme dans le sud de l'Allemagne ont révélé un lien entre la mortalité et la défoliation moyenne. Le dépérissement à grande échelle est une évolution plus que probable parmi les arbres qui pré-

sentent une défoliation moyenne sévère. Les sapins endommagés sont également prédisposés à des facteurs secondaires d'endommagement.

Contrairement à de nombreuses autres essences, le sapin blanc est partiellement capable de compenser les dommages en formant des pousses secondaires. Les sapins sévèrement endommagés peuvent donc survivre pendant de nombreuses années. Dans certains cas exceptionnels, une couronne secondaire viable peut entièrement remplacer la couronne primaire affaiblie et conduire ainsi à une régénération complète.



Exemple d'un sapin sévèrement endommagé montrant des signes de revitalisation distincte entre 1985 et 2002



Épicéa commun à différents stades phénologiques (avant la poussée, pendant la poussée et après la poussée)

2.2 La phénologie et les influences environnementales

Résumé

- Des liens ont été établis entre les stades de développement phénologiques annuels des arbres tels que le débourrement, la coloration du feuillage, la chute des feuilles et les influences climatiques et la croissance de l'arbre.
- Les observations phénologiques récemment intégrées dans la surveillance vont être étendues à l'avenir, car elles permettent d'analyser des facteurs d'agression environnementaux tels que le changement climatique. Elles sont également utilisées en tant que système d'alerte rapide sensible.

Introduction

Des évaluations à long terme ont montré qu'en Europe centrale la poussée printanière se produit deux semaines plus tôt environ qu'il y a un demi-siècle, voire quatre semaines plus tôt dans l'ex-

trême nord de la Scandinavie. Depuis l'an 2000, les stades de développement des arbres tels que la floraison, la poussée, la coloration du feuillage et la chute des feuilles font l'objet d'observations phénologiques sur un certain nombre de placettes de surveillance intensive. La phénologie est importante pour étudier les effets du changement climatique sur les écosystèmes forestiers et fournit, en outre, des indications sur la diversité génétique et les dépôts atmosphériques.

Premiers résultats

En Finlande et en Allemagne, la poussée de l'épicéa commun a été évaluée sur des arbres dont la circonférence de tronc était mesurée en permanence par des rubans gradués. D'une manière générale, une poussée plus précoce et une période de croissance plus longue ont entraîné un développement plus important du diamètre (figure 2-8, à gauche). Mais les conditions météorologiques

qui sévissent pendant cette période de croissance particulière, de même que la génétique de l'arbre individuel et les conditions du site à petite échelle peuvent recouvrir ces réactions fondamentales (arbre de droite sur la figure 2-8).

Sur des placettes de hêtres en Allemagne, au Luxembourg et en France, la longueur de la période de croissance (mesurée comme étant le temps entre la poussée printanière et la décoloration des feuilles en automne) a été mise en étroite relation avec la température et la région géographique.

Perspective

Les évaluations phénologiques peuvent servir de système d'alerte rapide pour signaler les effets du changement climatique et devraient être développées dans le programme. L'intégration de ces évaluations dans d'autres données en provenance des placettes de surveillance soutiendra les analyses des relations de cause à effet. Afin d'améliorer les résultats, les séries chronologiques devraient être plus longues, les informations devraient provenir d'un plus grand nombre de placettes et les arbres sur chaque placette devraient être plus nombreux.

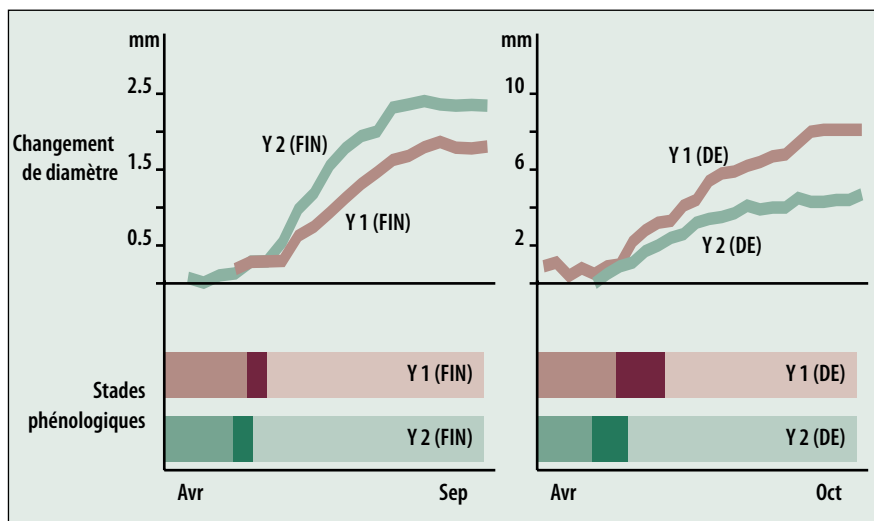


Figure 2-8 : développement du diamètre et observations phénologiques sur

- un épicéa à Punkaharju (Finlande, à gauche) et
- un épicéa à Sonthofen (Allemagne, à droite) au cours de deux années.

Graphiques supérieurs : mesures réalisées au moyen de rubans circonférentiels.

Graphiques inférieurs : périodes de poussée des mêmes arbres au cours des deux années d'observation (teinte moyenne : avant la poussée ; foncée : pendant la poussée ; claire : après la poussée).

Les mesures prises les mêmes années sont illustrées dans des couleurs différentes.

Pour plus d'informations, consulter le site : <http://www.metla.fi/UE/PIC/phenology/index.htm>

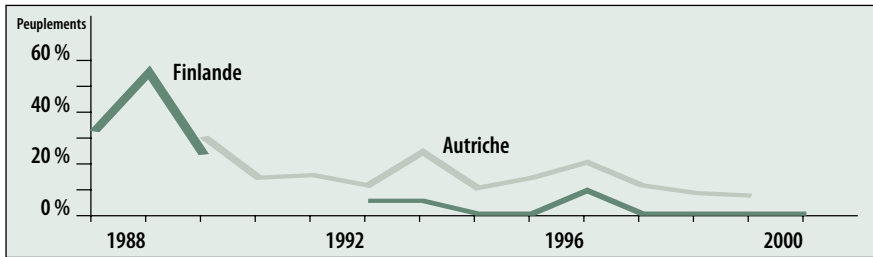


Figure 2-9 : proportion de peuplements dont les concentrations foliaires de soufre sont supérieures à 1,1 mg S/g en Finlande et en Autriche

2.3 La composition élémentaire des feuilles et des aiguilles en tant qu'élément révélateur des changements environnementaux

Résumé

- La réduction des dépôts de soufre se reflète dans la condition chimique des feuilles et des aiguilles. Cette constatation vaut également dans les pays tels que la Finlande et l'Autriche qui ont enregistré de faibles concentrations foliaires de soufre au cours des quinze dernières années.
- Les concentrations foliaires d'azote sont restées faibles dans les deux pays, mais les tendances sont préoccupantes dans certaines régions.
- La nutrition sur les placettes surveillées des deux pays a été caractérisée par des apports nutritifs équilibrés.

Introduction

Les analyses chimiques des aiguilles et des feuilles fournissent des informations précieuses sur la nutrition des arbres qui renseigne, à son tour, sur les changements environnementaux. Depuis 1987, la composition en éléments nutritifs des feuilles et des aiguilles des arbres sur 36 placettes de niveau I en Finlande et 71 placettes de niveau I en Autriche fait l'objet d'une détermination annuelle. Ces pays ont été sélectionnés pour l'évaluation parce qu'ils détiennent les données les plus complètes sur la chimie foliaire.

Résultats

Les concentrations de soufre dans les aiguilles ont été faibles au cours des quinze dernières années, tant en Autriche qu'en Finlande. Et quoique déjà faibles, les concentrations de

soufre dans les aiguilles ont encore diminué (figure 2-9), ce qui atteste de la réussite des programmes de réduction des émissions de soufre. Dans certaines zones éloignées de Finlande, les concentrations de soufre dans les aiguilles ont chuté à un niveau comparable à celui que l'on observe normalement dans les forêts vierges. En Autriche, par contre, des concentrations supérieures aux seuils nationaux spécifiques ont été enregistrées dans 7 % des forêts échantillonnées.

Les concentrations d'azote dans les aiguilles sont restées généralement faibles dans la majorité des régions de Finlande et d'Autriche. Ceci est particulièrement vrai dans les forêts autrichiennes des régions alpines. Des arbres présentant des concentrations d'azote supérieures ont souvent été rencontrés à proximité des zones agricoles et industrielles. Si l'on tient compte du vieillissement normal des arbres surveillés, c'est une diminution des concentrations d'azote que l'on aurait dû enregistrer à charge d'entrée constante. Une telle diminution n'ayant pas été observée, on suppose que la quantité d'azote disponible augmente dans les zones éloignées. Or, une disponibilité accrue d'azote peut avoir des effets négatifs sur les écosystèmes forestiers.



Prélèvement d'aiguilles dans une forêt finlandaise (à gauche) et une forêt autrichienne (à droite)

Lire également :

Lorenz, M., V. Mues, G. Becher, C. Müller-Edzards, S. Luyssaert, H. Raitio, A. Fürst et D. Langouche, Forest Condition in Europe. Results of the 2002 Large-scale Survey. Technical Report. EC, UNECE 2003, Brussels, Geneva, 171 p.



Des lysimètres extraient de l'eau de différentes couches du sol

3. SIMULATION DES IMPACTS À LONG TERME DES DÉPÔTS ATMOSPHÉRIQUES SUR LA SOLUTION DE SOL FORESTIER

Résumé

- Si les réductions d'émissions se poursuivent à l'avenir conformément au protocole de Göteborg, une récupération de la solution de sol devrait intervenir rapidement d'après les modèles appliqués. La récupération de la phase solide du sol prendra, en revanche, des dizaines d'années.
- Des calculs de modèles dynamiques portant sur quelque 200 placettes de surveillance intensive montrent une très forte réduction des concentrations en sulfate de la solution de sol entre 1980 et 2000 qui résulte des diminutions importantes des émissions de soufre.
- Le scénario de réduction des émissions prédit également une diminution des concentrations en nitrate du sol sur la majorité des placettes en 2010 si le protocole de Göteborg est dûment mis en œuvre dans tous les pays. Les réductions les plus fortes se feront sur les placettes qui affichent actuellement des concentrations d'azote élevées.
- Des réductions des concentrations potentiellement toxiques d'aluminium

devraient se produire sur les placettes où des concentrations d'aluminium élevées ont été enregistrées dans les années 1980.

Introduction

La pollution atmosphérique est un facteur d'influence crucial pour l'état des forêts en Europe. Les pays qui ont ratifié le protocole de Göteborg ont accepté de réduire considérablement leurs émissions de soufre, d'oxydes d'azote et d'autres polluants. Si les émissions de soufre ont considérablement baissé ces dernières décennies (figure 3-1), les charges critiques d'azote et d'acidité sont toujours dépassées sur de nombreuses placettes, comme on l'a souligné dans le rapport de l'année précédente. Les séries chronologiques des dépôts de polluants atmosphériques mesurés sont des instruments valables pour identifier le succès du programme et d'autres défis qui se posent aux politiques « air propre » en Europe.

Le chapitre ci-après présente des applications d'un modèle dynamique visant à simuler les futures réactions du

sol aux réductions de dépôts. Les évaluations ont été faites en étroite collaboration avec les programmes concertés de la Convention PATLD, à savoir le PIC sur la modélisation et la cartographie et le PIC sur la surveillance intégrée. Les résultats constituent un pas en avant vers le futur objectif qui consiste à appliquer des modèles dynamiques non seulement à des placettes individuelles, mais aussi à l'échelle européenne.

Application de modèle

L'apport d'éléments par les dépôts et les concentrations d'éléments dans la solution de sol sont mesurés régulièrement sur quelque 200 placettes de surveillance intensive. Un modèle dynamique d'acidification du sol a été appliqué sur ces placettes afin de vérifier si ce modèle permet de reproduire les concentrations des solutions de sol mesurées. On s'est servi des données existantes pour optimiser certains paramètres de transformation dans le modèle. La convention a été jugée raisonnable à bonne pour la majorité des placettes (figure 3-2).

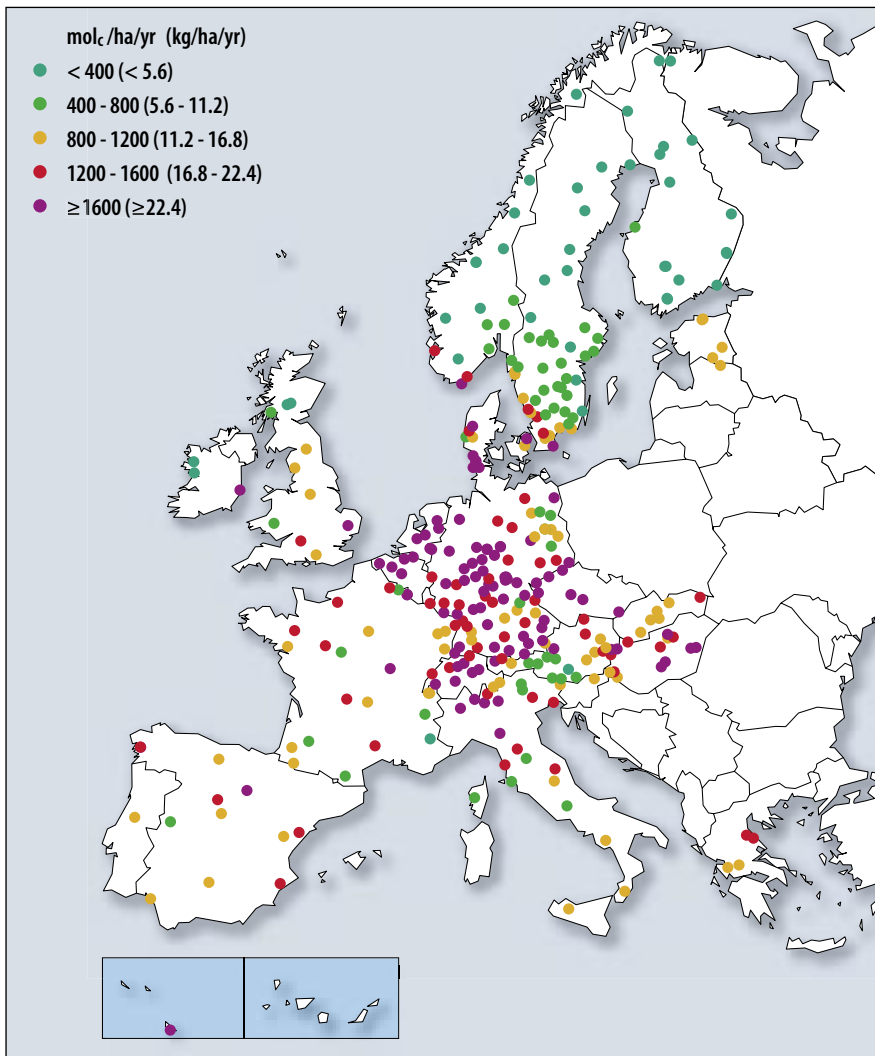


Figure 3-1 : dépôt d'azote total sur des placettes de niveau II, 1998 - 2000. Les dépôts d'azote les plus élevés ont été enregistrés en Europe centrale. Les charges critiques visant à empêcher toute autre accumulation d'azote dans le sol sont actuellement dépassées sur 92 % des placettes de niveau II évaluées. Les charges critiques tenant compte des effets sur les arbres ont été dépassées sur 45 % des placettes. Afin de tenir compte des interactions qui se produisent dans le couvert forestier, les dépôts totaux sont modélisés en partant des mesures des précipitations au sol en-dessous du couvert forestier et des dépôts bruts en provenance des champs ouverts avoisinants.

Après avoir optimisé le modèle, les impacts des changements escomptés dans les dépôts pour la période de 1970 à 2030 ont été simulés. On part du principe que si le modèle est capable de reproduire les mesures de la solution de sol sur plusieurs années antérieures, il fournira également des résultats plausibles pour les simulations futures. Le scénario de dépôt évalué était basé sur les réductions d'émissions convenues au titre du protocole de Göteborg.

Résultats

L'analyse de scénario sur l'ensemble des placettes de niveau II simulées (figure 3-3) révèle une forte diminution de la concentration médiane en sulfate de la solution de sol résultant des réductions importantes des émissions de sulfate en



Équipement de mesure des dépôts humides dans les peuplements forestiers

Méthodes

Les **charges critiques** ont été présentées dans le rapport de synthèse 2002. Elles définissent la charge à long terme en-dessous de laquelle aucun effet néfaste significatif n'est à redouter. Si les dépôts excèdent la charge critique, il existe un risque accru d'endommagement de l'écosystème, et il est nécessaire de réduire les dépôts pour sauvegarder l'écosystème.

On utilise des **états stables** pour calculer les charges critiques. Ces états ne tiennent pas compte des changements temporels qui interviennent dans la chimie du sol.

Des **modèles dynamiques** sont utilisés pour simuler les réactions de la chimie du sol à des conditions environnementales changeantes. Ils sont plus complexes étant donné qu'ils tiennent compte des processus dynamiques du sol tels que l'échange de cations, l'adsorption de sulfate et la rétention d'azote.

Les ions **d'aluminium** peuvent endommager les racines des végétaux. Les concentrations élevées se produisant généralement dans les sols acides, la teneur en ions d'aluminium dans la solution du sol est un important indicateur de l'acidification du sol.

La **solution du sol** est l'eau qui traverse les interstices du sol. Sa composition chimique est influencée par les dépôts. Elle constitue également le milieu de base pour l'absorption de nutriments par les racines des végétaux.

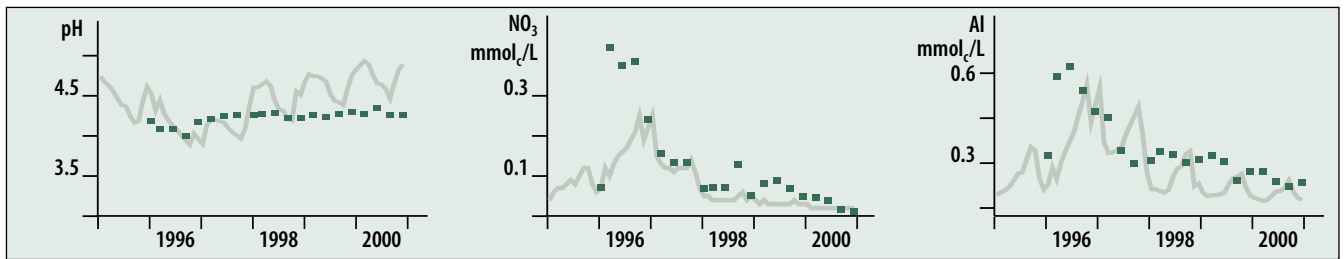


Figure 3-2 : exemple de pH et de concentrations en nitrates (NO_3) et en aluminium (Al) mesurés (points) et simulés (lignes) dans la solution de sol d'une placette de surveillance intensive. La simulation spécifique est favorable pour l'aluminium, mais moins favorable pour le pH.

Europe. Elle montre également que les réductions d'émissions d'azote devraient entraîner une diminution des concentrations de nitrates dans le sol. Selon d'autres évaluations, il est fort probable que des réductions se produiront sur des placettes qui présentent aujourd'hui des concentrations de nitrates élevées. Certaines placettes continueront d'enregistrer à l'avenir des teneurs en nitrates élevées. La diminution des dépôts acides engendre une amélioration de l'état chimique des placettes puisque le pH augmente tandis que les concentrations connexes d'aluminium diminuent. On tiendra compte du fait que les résultats ne reflètent que les réactions chimiques de l'eau du sol. Les réactions de la phase solide du sol sont toujours plus lentes et s'étendront sur plusieurs décennies, voire des siècles.

La répartition géographique des concentrations de sulfate simulées dans la solution du sol des sites modélisés illustre la forte diminution prévue en 2030 par rapport à 1970 (figure 3-4). Elle montre également une grande variabilité spatiale de la concentration en SO_4 de la solution du sol, les valeurs les plus élevées étant enregistrées en Europe centrale.

La répartition géographique des concentrations simulées en aluminium montre essentiellement que le nombre de placettes présentant des concentrations trop élevées se réduit considérablement au fil du temps (figure 3-5). Les concentrations d'aluminium étaient initialement supérieures à une valeur critique de $0,2 \text{ mol}_c/\text{m}^3$ sur 20 % des placettes environ. Les simulations montrent que ce pourcentage sera considérablement réduit à l'avenir et avoisinera les 5 %.

Lire également :

De Vries, W., G.J. Reinds, M. Posch, M. J. Sanz, G.H.M. Krause, V. Calatayud, J.P. Renaud, J.L. Dupouey, H. Sterba, M. Dobbertin, P. Gundersen, J.C.H. Voogd and E.M. Vel, 2003. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Technical Report. EC, UNECE 2003, Brussels, Geneva, 170 p.

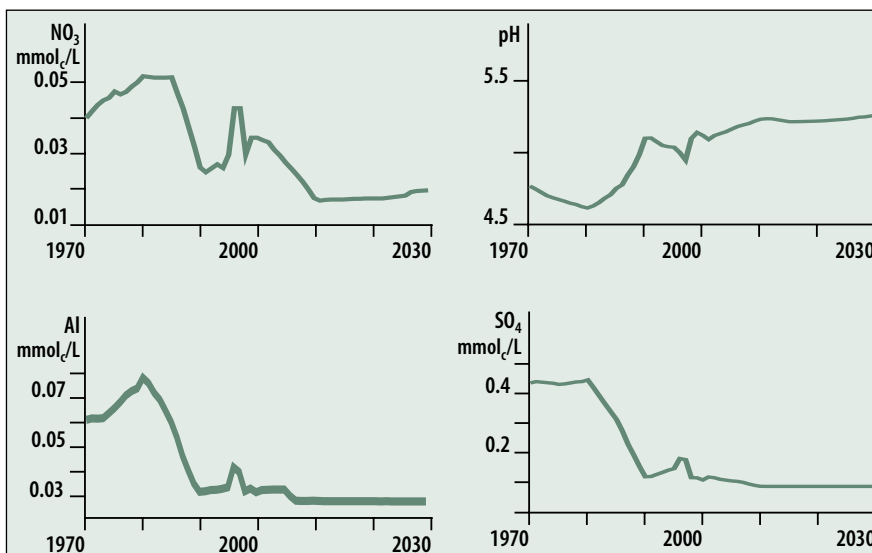


Figure 3-3 : simulation du pH médian ainsi que des concentrations de sulfate (SO_4^{2-}), de nitrates (NO_3) et d'aluminium (Al) dans la solution du sol de 200 placettes de surveillance intensive au cours des années 1970 à 2030 dans le cadre d'un scénario d'émissions conforme au protocole de Göteborg. L'évolution accidentée des tracés entre 1996 et 2000 s'explique par l'utilisation de données spécifiques à chaque année au cours de cette période alors que des valeurs moyennes ont été utilisées les autres années.

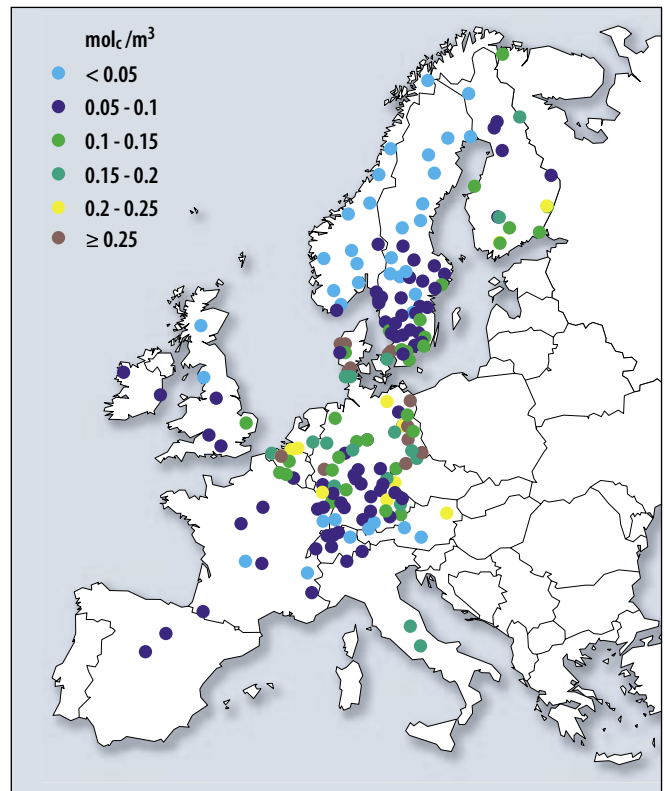
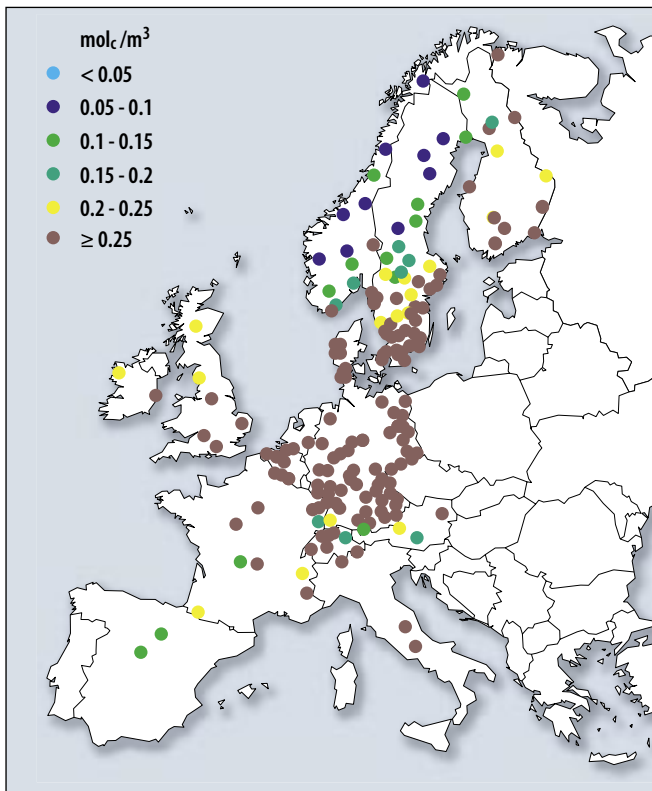


Figure 3-4 : concentration de sulfate (SO_4) simulée de la solution du sol sur des placettes de niveau II en 1970 (à gauche) et en 2030 (à droite)

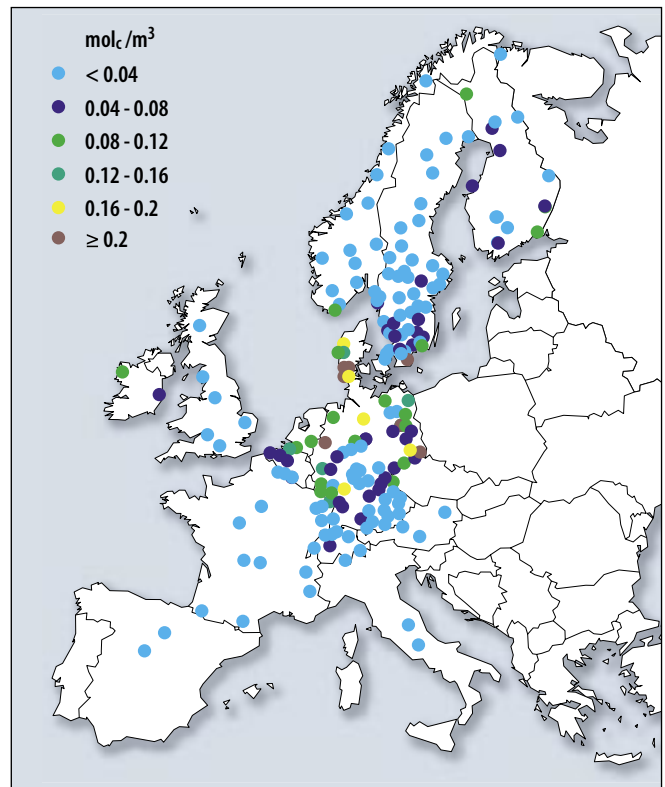
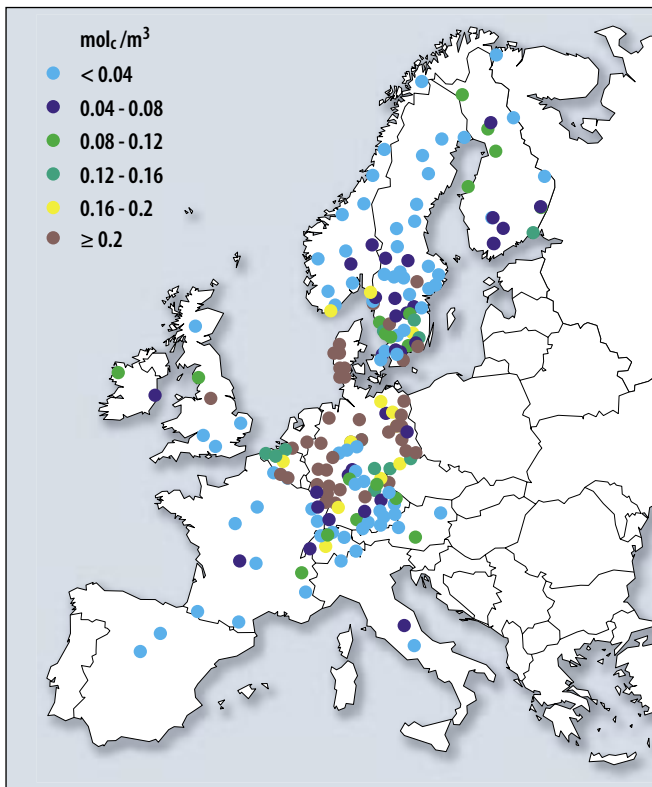


Figure 3-5 : concentration d'aluminium (Al) simulée de la solution du sol sur des placettes de niveau II en 1970 (à gauche) et en 2030 (à droite)



Échantillonneurs passifs installés en Espagne

4. CONCENTRATIONS D'OZONE DANS LES FORÊTS

Résumé

- L'ozone est considéré à l'heure actuelle comme l'un des polluants atmosphériques omniprésents dont l'influence sur les forêts est la plus importante.
- Une phase test exécutée sur une sélection de placettes montre qu'il est possible de surveiller la concentration d'ozone sur des sites éloignés et sur des surfaces étendues. Les résultats préliminaires concordent avec l'état actuel des connaissances. Des concentrations d'ozone particulièrement élevées sont fréquentes dans le sud de l'Europe.
- L'évaluation des dommages visibles causés par l'ozone réalisée actuellement dans le cadre de ce programme constitue le premier système de surveillance des effets directs de ce gaz au niveau européen. Les premiers résultats montrent que parmi les principales essences d'Europe centrale, le hêtre est affecté par l'ozone. Plusieurs espèces végétales dont on ignorait jusqu'ici la sensibilité à l'ozone ont montré des symptômes de dommages causés par ce polluant.

Introduction

L'influence très importante des dépôts atmosphériques sur les écosystèmes forestiers est connue depuis plusieurs années et a été l'une des raisons principales de la mise en œuvre de ce programme de surveillance. Conformément à son mandat, le programme a suscité de nombreux rapports (cf. www.icp-forests.org) présentant des résultats détaillés concernant essentiellement les dépôts de soufre et d'azote. L'importance des gaz à effet de serre tels que l'ozone et le dioxyde de carbone a été reconnue par la suite au niveau européen et au niveau mondial. En 2001, le programme du Groupe UE/PIC Forêts a lancé une phase test visant à surveiller l'ozone sur ses placettes forestières les plus éloignées des sources de pollution étant donné qu'au niveau européen la majorité des données relatives à l'ozone proviennent actuellement de zones urbaines ou périurbaines. La phase test s'est limitée à mesurer les concentrations dans l'air au moyen d'échantillonneurs passifs et à évaluer les dommages visibles causés par l'ozone. Une centai-

ne de placettes de surveillance intensive situées dans neuf pays ont été intégrées dans cette phase test.

Échantillonnage passif

L'utilisation des échantillonneurs passifs testés s'est révélée être une méthode fiable et peu coûteuse pour obtenir des informations sur la qualité de l'air ambiant, en particulier dans les zones forestières éloignées où les installations techniques telles que les stations de surveillance permanente font défaut (figure 4-2).

Les concentrations moyennes d'avril à septembre 2001 sont plus élevées dans la partie méridionale de l'Europe (figure 4-1), 58 % des sites espagnols et 63 % des sites italiens ayant une concentration moyenne semestrielle pondérée dans le temps qui avoisine les 46-60 ppb. Des concentrations relativement élevées ont aussi été rencontrées en Grèce et en Suisse. En Allemagne, en France, au Royaume-Uni et en Autriche les concentrations moyennes mesurées sont moins élevées. Rappelons que les concentrations d'ozone en 2001 étaient

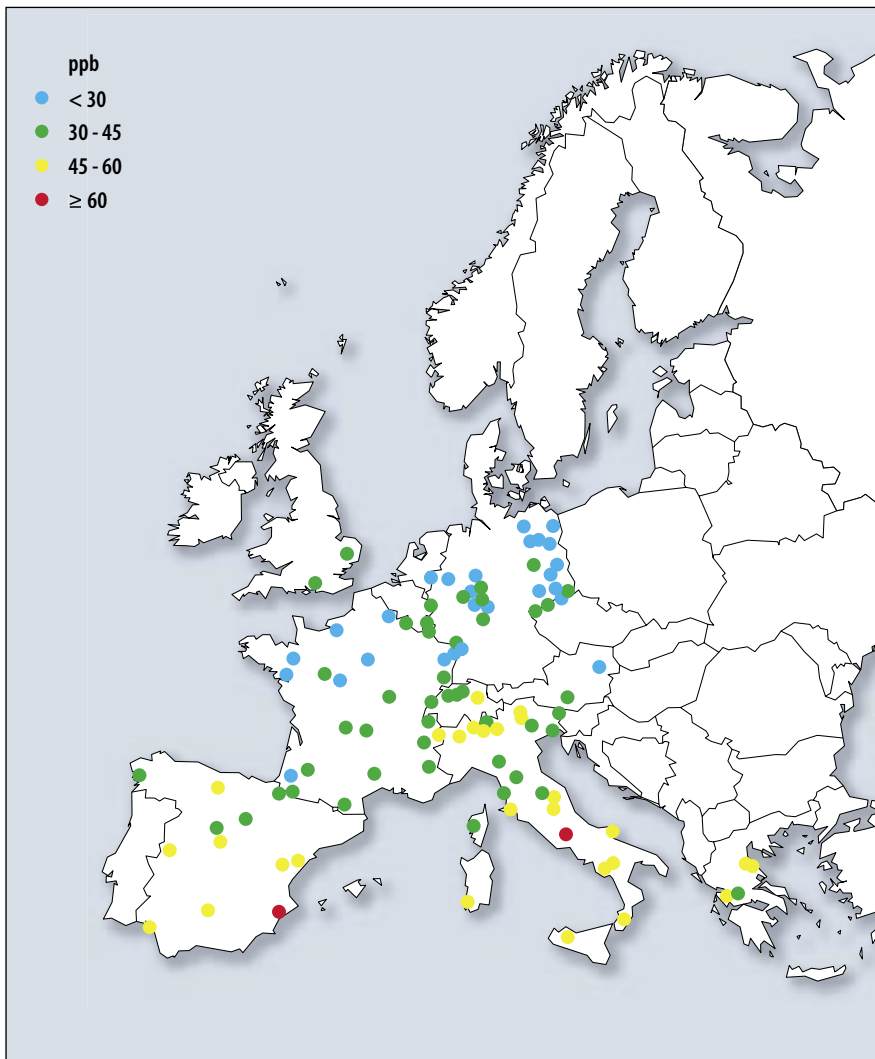


Figure 4-1 : concentration moyenne d'ozone entre le 1er avril et le 30 septembre 2001 mesurée par échantillonnage passif sur des placettes sélectionnées durant la phase test

généralement plutôt faibles par rapport à la plupart des années précédentes.

Évaluation des dommages visibles causés par l'ozone

L'ozone ne laisse pas de résidu élémentaire détectable par des techniques analytiques. Aussi a-t-on procédé, en 2001, à des évaluations des dommages visibles sur les aiguilles et les feuilles des principales essences, de même que sur la couverture arbustive et herbacée de 72 placettes réparties dans neuf pays. Un site Internet proposant une galerie de photos illustrant les symptômes liés à l'ozone sur les feuilles et les aiguilles a été mis à disposition des observateurs afin de faciliter la détermination des dommages causés par l'ozone (<http://www.gva.es/ceam/ICP-forests>). Plusieurs cours de formation ont été organisés dans le but de faire acquérir le niveau d'expertise requis dans ce domaine et d'harmoniser les méthodes, tandis que des procédures spéciales d'examen au microscope ont été mises au point afin de permettre la validation des symptômes dans les cas suspects.

Des dommages visibles aux arbres ont été notés sur dix-sept placettes. En Europe centrale, les investigations se sont concentrées sur le hêtre commun. Des dommages sur cette importante essence ont été signalés sur 24 % des placettes examinées. L'observation des espèces de la couverture arbustive et herbacée a permis de mettre en évidence la sensibilité à l'ozone jusque-là inconnue de plusieurs espèces.

Réalisations et perspectives

Le système de surveillance de l'ozone lancé au niveau des forêts européen-

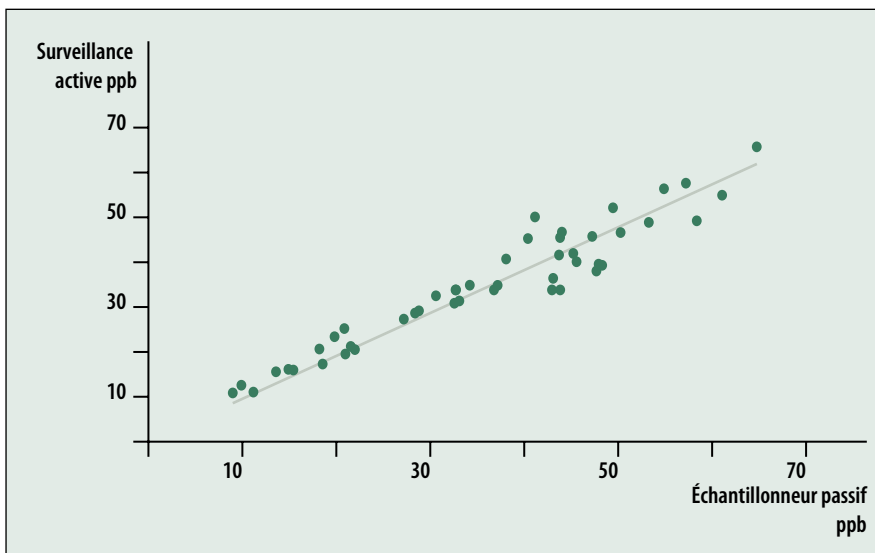
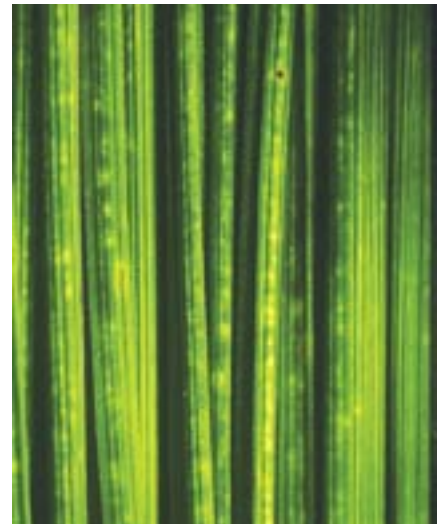


Figure 4-2 : comparaison des concentrations moyennes d'ozone mesurées pendant deux semaines par la surveillance active et la surveillance passive en Espagne. La très bonne corrélation entre les concentrations mesurées montre que l'échantillonnage passif peut fournir des mesures fiables. Les échantillonneurs passifs contiennent des substances chimiques qui réagissent à l'ozone présent dans l'air. Les échantillonneurs sont relevés au bout d'une à quatre semaines et analysés en laboratoire.



Domages visibles causés par l'ozone sur les feuilles du hêtre commun et de l'aulne rugueux ainsi que sur les aiguilles du pin d'Alep. La différenciation de ces dommages par rapport à d'autres symptômes nécessite un très important savoir-faire.

nes pendant la phase test s'est révélé opérationnel. Plusieurs pays ont acquis le niveau de savoir-faire requis pour l'échantillonnage passif. L'évaluation des dommages causés par l'ozone aux principales essences ainsi qu'à la couverture arbustive et herbacée doit être considérée comme un premier pas vers la mise en œuvre d'un système unique de surveillance à l'échelle européenne des effets de l'ozone, basé sur des observations validées sur le terrain. Elle élargira également les connaissances actuelles sur les espèces sensibles à l'ozone. Les méthodes devraient être affinées et l'échantillonnage passif poursuivi. Les informations obtenues par les deux études seront mises en corrélation en utilisant un système d'information géographique (GIS). Cela permettra de mieux comprendre les effets de l'ozone sur la végétation forestière, et constituera une base valide pour les modèles de calibrage du programme de l'UE/PIC Forêts et d'autres programmes s'inscrivant dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance.

Lire également :

De Vries, W., G.J. Reinds, M. Posch, M. J. Sanz, G.H.M. Krause, V. Calatayud, J.P. Renaud, J.L. Dupouey, H. Sterba, M. Dobbertin, P. Gundersen, J.C.H. Voogd and E.M. Vel, 2003. *Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Technical Report.* EC, UNECE 2003, Brussels, Geneva, 170 p.



Site expérimental de fumigation d'ozone en plein air à Freising, Allemagne

OZONE

Aperçu général de la situation de l'ozone

- L'ozone (O_3) de la troposphère (couche de l'atmosphère la plus voisine de la surface terrestre) a, selon les estimations, augmenté d'environ 35 % depuis l'ère pré-industrielle, mais d'une manière très variable selon les pays. En 2001, le Groupe intergouvernemental pour l'étude du changement climatique (IPCC) a classé l'ozone troposphérique en tant que troisième gaz à effet de serre par ordre d'importance décroissante derrière le dioxyde de carbone (CO_2 , cf. également chapitre 5) et le méthane (CH_4).
- Alors que les concentrations d'ozone dans la troposphère augmentent,

des diminutions ont été observées ces vingt dernières années dans la stratosphère à des altitudes comprises entre 15 et 50 km. Principalement dû aux halocarbones anthropiques, cet appauvrissement menace le bouclier de protection naturel de la terre qui est formé par l'atmosphère.

Dommages causés par l'ozone

La première réaction des arbres à l'ozone se produit lorsque ce gaz pénètre à l'intérieur de la feuille par les stomates (petits orifices de la surface foliaire par lesquels s'effectuent les échanges gazeux). L'ozone piégé à l'intérieur de la feuille se transforme ensuite et libère divers composants cytotoxiques, des

„radicaux libres“. Les experts scientifiques sont unanimes à reconnaître qu'aux niveaux enregistrés dans la plus grande partie de l'Europe et de l'Amérique du Nord, l'ozone est susceptible de provoquer des dommages foliaires, de réduire la teneur de la feuille en chlorophylle et donc la photosynthèse, d'accélérer la sénescence de la feuille, de réduire la croissance de l'arbre, de modifier l'allocation du carbone et de prédisposer l'arbre aux agressions par les insectes et les organismes pathogènes. La tolérance à l'ozone varie considérablement en fonction des essences et des éléments individuels au sein de ces essences.

Recherches sur l'ozone

Les scientifiques chargés des activités de surveillance dans le cadre du programme de l'UE/PIC Forêts entretiennent des liens de collaboration étroits avec des instituts de recherche où se déroulent, entre autres, les deux expériences décrites ci-dessous.

Depuis 2000, les effets de l'exposition chronique d'arbres adultes à des concentrations d'ozone égales au double des concentrations ambiantes sont étudiés dans une forêt mixte de hêtres et d'épicéas située à proximité de Freising, en Allemagne. Les feuilles de hêtre présentent actuellement des symptômes visibles et une sénescence automnale accélérée dus à la fumigation d'ozone en plein air ; l'épicéa apparaît en revanche moins sensible. Les résultats aideront à interpréter les nombreuses observations faites sur de jeunes plants en conteneurs que l'on ne peut extrapoler sans précaution aux réactions des arbres plus âgés.

Le projet Aspen-FACE (Free Air Carbon Enrichment), dans le nord du Wisconsin, aux États-Unis, regroupe des scientifiques en provenance d'Amérique du Nord et de cinq pays européens. Les effets des concentrations élevées de CO_2 , O_3 et $CO_2 + O_3$ sont comparés aux concentrations ambiantes relevées sur un site de recherche en plein air. Les résultats enregistrés au cours des cinq premières années montrent clairement que les taux élevés de CO_2 dans l'atmosphère (> 200 ppm) ont stimulé la croissance des arbres. À des concentrations élevées, les dommages causés par l' O_3 se sont fait ressentir en cascade, du contrôle de l'expression génique jusqu'au niveau de l'écosystème. Parallèlement, l'effet bénéfique du CO_2 a été entièrement neutralisé par le traitement enrichi en O_3 .



Site expérimental international « Aspen-FACE » au Wisconsin, États-Unis



Peuplement de vieux chênes et de hêtres en Allemagne

5. LE PIÉGEAGE DU CARBONE DANS LES FORÊTS EUROPÉENNES ET SON IMPLICATION DANS LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Résumé

- *Les forêts absorbent du carbone de l'atmosphère. Selon les derniers résultats du programme de surveillance, l'augmentation nette de la réserve forestière de carbone en Europe (arbres + sol) s'élève à environ 0,1 gigatonne par an, ce qui représente 25 % à 50 % du puits de carbone total estimé de l'Europe.*
- *Selon les calculs, les dépôts d'azote au cours des quarante dernières années sur l'ensemble de l'Europe expliquaient 5 % de l'augmentation de l'assimilation de carbone obtenue en stimulant la croissance des forêts.*
- *Les réserves de carbone sont nettement moins élevées dans les arbres que dans les sols. Mais actuellement, la quantité de carbone piégée annuellement par les arbres est cinq à sept fois plus élevée que celle piégée par les sols forestiers. Plus le peuplement vieillit, plus le piégeage diminue et plus l'importance relative des sols augmente.*

Introduction

L'assimilation de carbone par les forêts (piégeage) retarde l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère et ralentit ainsi le rythme du changement climatique. Plusieurs questions importantes se posent :

- Quelle est la quantité de carbone piégée par les écosystèmes forestiers européens ?
- Quelle est la cause de l'augmentation du piégeage net du carbone enregistré ces dernières décennies ?

Les chiffres actuellement disponibles sur l'assimilation du carbone varient considérablement, ce qui s'explique en grande partie par les différences de méthodologies utilisées et dans une moindre mesure par le nombre très limité de sites expérimentaux. Les influences anthropiques sur la forêt, telles que la gestion forestière ou les dépôts accrus d'azote, peuvent jouer un rôle important dans le piégeage de carbone. L'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère et l'élévation de la température constituent deux autres facteurs susceptibles de contribuer à l'augmentation actuelle du piégeage de

carbone. Les informations enregistrées sur 120 placettes de surveillance intensive et 6 000 placettes de niveau I fournissent une excellente base de travail pour répondre à ces questions.

Piégeage du carbone sur des placettes de surveillance intensive et des placettes de niveau I

Les résultats obtenus sur les placettes de surveillance intensive montrent que l'assimilation annuelle de carbone par la biomasse aérienne de l'arbre est généralement cinq à sept fois supérieure au piégeage de carbone estimé dans les sols (figure 5-2). Comme on pouvait s'y attendre, l'assimilation de carbone par les arbres suite à la croissance de la forêt augmente du nord vers le centre de l'Europe. Les évaluations qui ont été faites sur les placettes de niveau I révèlent des modèles géographiques identiques dans toute l'Europe (figure 5-3).

Piégeage du carbone dans les forêts européennes et impact des dépôts d'azote

Selon les données modélisées basées sur 6 000 placettes de niveau I, l'assi-

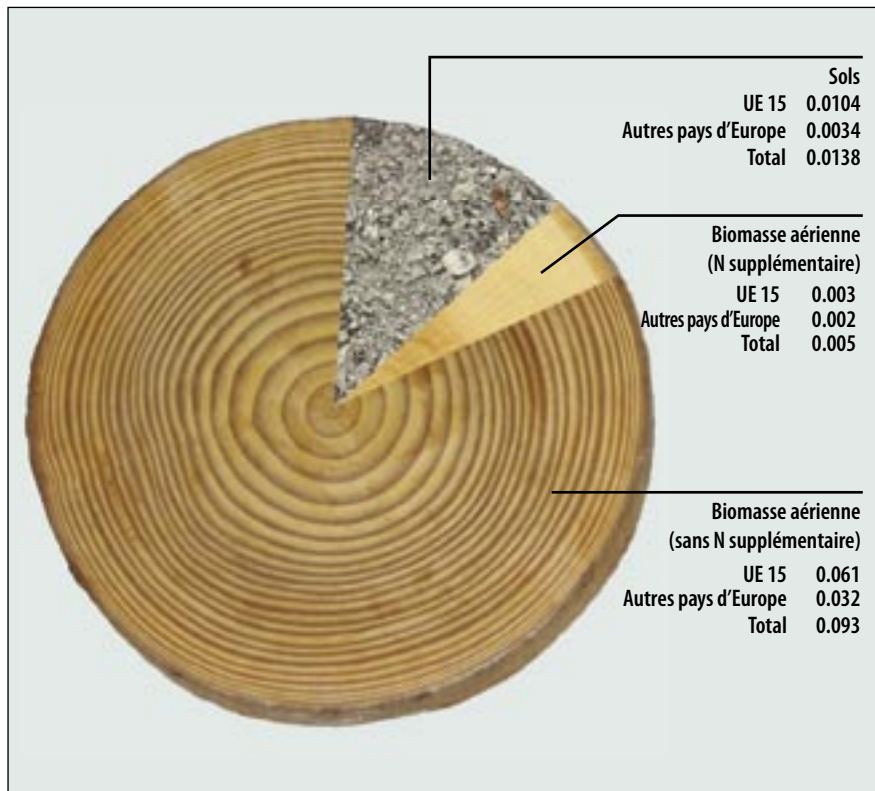


Figure 5-1 : piégeage net annuel du carbone de la biomasse aérienne et des sols des forêts européennes en Gtonnes/ha/an tiré des placettes de surveillance intensive et des placettes de niveau I. Le piégeage du carbone dans la biomasse aérienne engendré par des apports supplémentaires d'azote est comparativement faible. Le total pour l'Europe fait référence à la zone forestière définie en annexe I.

milation totale de carbone dans le bois suite à la croissance des arbres dans les forêts européennes au cours de la période de 1960 à 2000 est évaluée à 0,3 Gtonne/an. Cette valeur est identique à celle obtenue dans d'autres projets de recherche.

Partant pour l'Europe d'un rapport global moyen de deux tiers pour tenir compte de la libération de carbone liée, entre autres, à la récolte de bois, aux tempêtes et aux incendies de forêt, le piégeage net de carbone des forêts européennes a été estimé à 0,1 Gtonne/an. La contribution des dépôts d'azote à cette augmentation annuelle du carbone dans la biomasse aérienne étant évaluée à 0,005 Gtonne/an (figure 5-1), cela signifie qu'environ 5 % de l'assimilation supplémentaire de carbone depuis 1960 est due à l'augmentation des dépôts azotés. Au niveau européen, les dépôts azotés ont donc eu un impact relativement faible sur le piégeage de carbone par les arbres, mais cet impact peut-être localement important dans des zones ayant reçu des dépôts élevés.

Le piégeage du carbone par le sol est plus difficile à évaluer. D'après une première estimation du piégeage du carbone dans les sols de onze sites « CANIF » soutenus par l'UE, le piégeage serait de 0,128 Gtonne/an. Très récemment, le groupe CarboEurope (cf. axe thématique) a calculé un accroissement encore plus important des réserves, s'élevant à 0,194 Gtonne/an dans les sols des quelques 2 millions de km² des forêts européennes. Or, le calcul du piégeage de carbone net basé sur les sols de 120 placettes de surveillance intensive montre que la quantité de carbone piégé en 2000 n'était que de 0,0138 Gtonne, soit dix fois moins. Cette grande différence impose de mieux comprendre le rôle des sols forestiers dans le piégeage de carbone, grâce à des recherches plus intensives.

D'une manière générale, la contribution des dépôts d'azote au piégeage du carbone par le bois des arbres et les sols des forêts est probablement très faible. En supposant que l'augmentation de la concentration de CO₂ et l'élévation de la température ont une influence moins

Les réserves de carbone dans le bois de tronc et dans le sol ont été calculés directement sur 120 placettes de surveillance intensive pour lesquelles on disposait d'une base de données détaillée. Des liens statistiques ont pu être établis de façon à extrapoler les réserves de carbone sur 6 000 placettes de niveau I en partant du principe qu'elles sont représentatives d'environ 2 millions de km² de forêts en Europe (cf. annexe I). Prenant 1960 comme année de référence pour les dépôts d'azote, l'impact des dépôts d'azote supplémentaires a été calculé jusqu'en 2000.

Les changements intervenus dans les réserves de carbone des arbres sur les placettes de surveillance intensive ont été déduits directement de relevés de croissance répétés. Les changements de niveau de carbone dans le sol ont été calculés en partant de la rétention d'azote (dépôt moins lessivage), de l'assimilation d'azote et du rapport C/N (carbone sur azote) que l'on a supposé constant à divers niveaux d'apports azotés.

Sur les placettes de niveau I, les dépôts d'azote ont été tirés d'estimations modélisées. L'assimilation d'azote par la biomasse aérienne a été calculée en partant d'estimations de production variant en fonction de la qualité du site. En ce qui concerne les réserves de carbone souterraines et leurs variations, les fractions de rétention d'azote sur les placettes de niveau I ont été mises en corrélation avec les rapports C/N mesurés en utilisant un rapport tiré des placettes de niveau II.

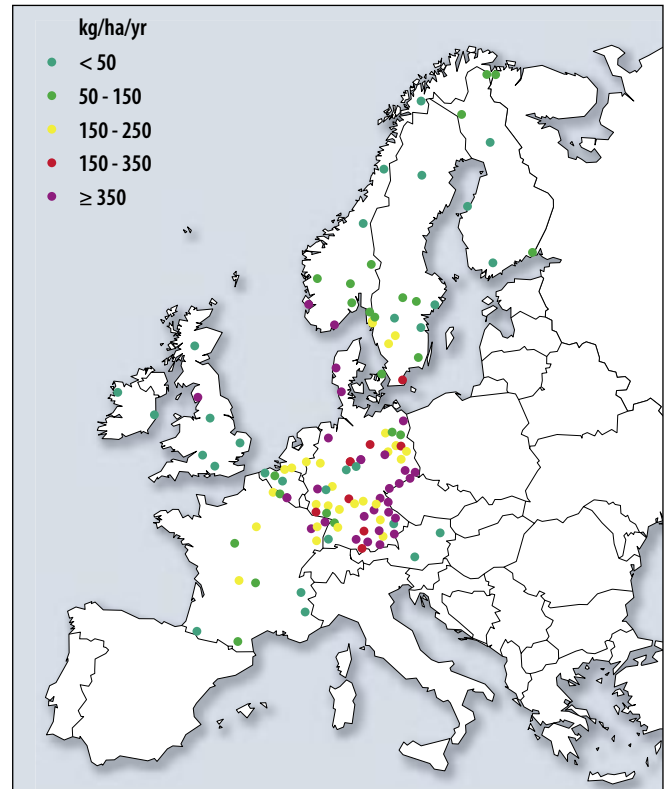
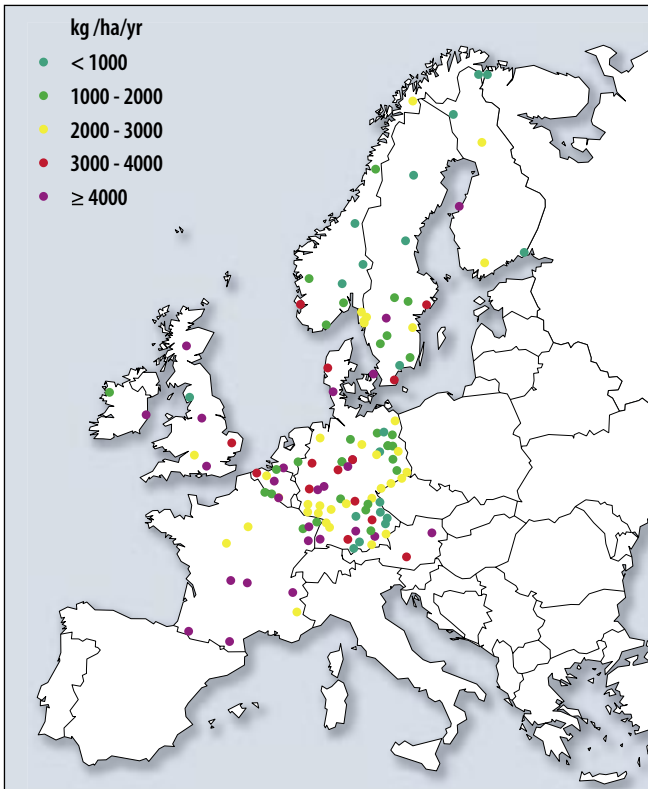


Figure 5-2 : piégeage net annuel calculé du carbone (kgC/ha/an) dans les arbres (à gauche) et dans le sol (à droite) sur 121 placettes de surveillance intensive en 2000. Attention aux différentes échelles de légende !

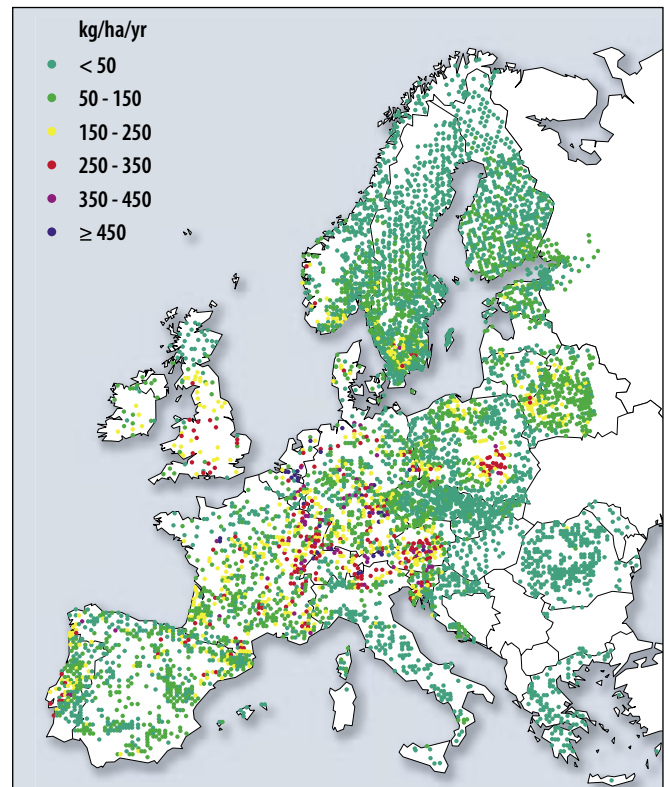
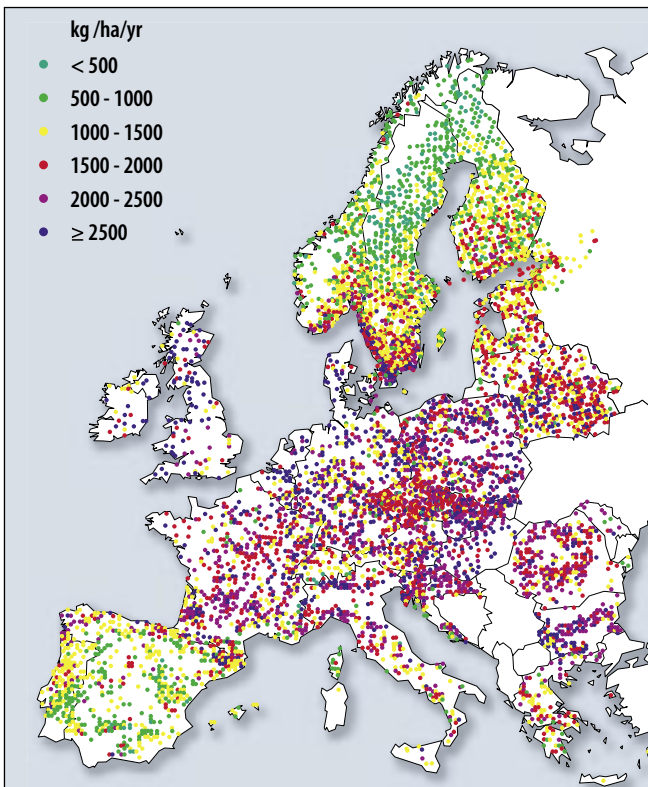


Figure 5-3 : piégeage net annuel calculé du carbone (kgC/ha/an) dans les arbres (à gauche) et dans le sol (à droite) sur les 6 000 placettes de niveau I en 2000. Attention aux différentes échelles de légende !



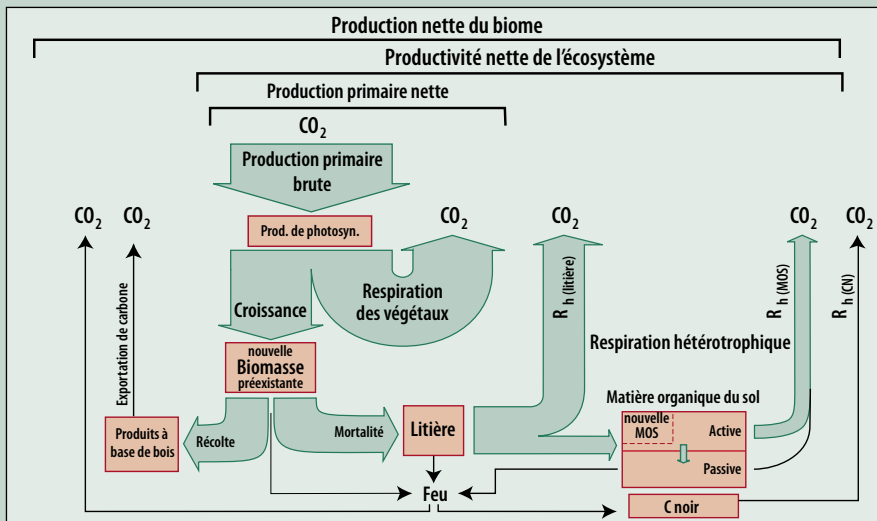
Sur les placettes de niveau II, les peuplements à volume sur pied élevé emmagasinent jusqu'à 250 tonnes par hectare (photo du haut), alors que les sols noirs, riches en matières organiques, accumulent jusqu'à 500 tonnes de carbone par hectare (photo du bas). Le piégeage du carbone dans la biomasse aérienne est actuellement plus rapide que celui des sols. Le piégeage du carbone dans les sols est généralement lent et ne peut, généralement, être mesuré qu'après plusieurs décennies.



grande encore, il apparaît que la cause la plus probable de l'augmentation des réserves de carbone dans la biomasse aérienne en Europe est le fait que la récolte totale de bois est inférieure à l'accroissement des peuplements boisés existants et récents. Cette hypothèse devra être prouvée au cours des prochaines années.

Lire également :

De Vries, W., G.J. Reinds, M. Posch, M. J. Sanz, G.H.M. Krause, V. Calatayud, J.P. Renaud, J.L. Dupouey, H. Sterba, M. Dobbertin, P. Gundersen, J.C.H. Voogd and E.M. Vel, 2003. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Technical Report. EC, UNECE 2003, Brussels, Geneva, 170 p.



Le cycle du carbone. L'assimilation du CO₂ par la terre est régie par la production nette du biote (PNB), c'est-à-dire le solde de la production nette de l'écosystème (PNE) diminuée des pertes de carbone attribuables aux incendies et à la collecte de biomasse.

centration de CO₂ et une élévation de la température moyenne à la surface de la terre au cours du 21^{ème} siècle.

Interactions avec le carbone

- Les végétaux en croissance assimilent du CO₂ par le biais de la photosynthèse. Ils rejettent de l'oxygène dans l'air ambiant et se servent du carbone comme principal composant de leur biomasse. Le bois et le sol piègent le carbone pendant de longues périodes. Aussi sont-ils considérés comme des réserves efficaces de carbone. La gestion des forêts peut améliorer l'assimilation de carbone en s'orientant vers des peuplements riches en biomasse et en protégeant le sol.
- D'une manière générale, les océans constituent la principale réserve de carbone. Cependant, plus la concentration en CO₂ augmente, plus la fraction assimilée par les océans diminue.

LE PIÉGEAGE DU CARBONE

Dioxyde de carbone : situation globale, implications, recherche et réactions politiques

Selon les résultats du Groupe intergouvernemental sur l'étude du changement climatique (IPCC) :

- Le climat de la terre a changé de façon notable depuis l'ère pré-industrielle. Depuis 1750, la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone (CO₂) a augmenté d'environ 30 % dans le monde. Le taux d'augmentation du siècle dernier est le plus haut

jamais enregistré, du moins au cours des 20 000 dernières années.

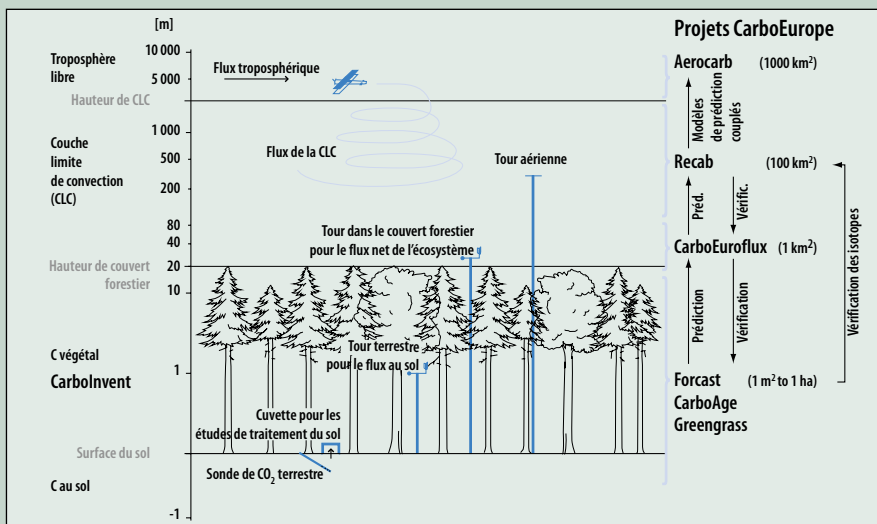
- L'augmentation actuelle du taux de CO₂ dans l'atmosphère est due à des émissions anthropiques dont trois quarts environ sont liées à l'utilisation de combustibles fossiles. Les changements d'affectation du sol, et en particulier le déboisement, sont responsables des émissions restantes.
- Tous les scénarios de calcul prévoient une augmentation de la con-

Protocole de Kyoto

En 2002, la Communauté européenne a ratifié le protocole de Kyoto sous la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et s'est ainsi engagée à réduire ses émissions de CO₂ de 8 % en 2012 par rapport aux niveaux de 1990. Les engagements de réduction varient d'un pays signataire à l'autre.

CarboEurope

CarboEurope est un groupe de projet de recherche de l'UE qui met au point des méthodes permettant de quantifier le bilan du carbone européen dans le cadre du protocole de Kyoto. Le carbone est mesuré et modélisé à différentes échelles qui vont des concentrations en CO₂ de la troposphère aux mesures du flux de carbone au-dessus de la couverture végétale, en passant par les mesures de la transformation du CO₂ dans le sol. Les données du programme de l'UE/PIC Forêts contribuent au projet. Une très grande incertitude entoure toujours les estimations du bilan global du carbone, mais d'après la compilation des données actuelles les plus élaborées, les forêts représenteraient la plus grande réserve d'Europe.



Composition de CarboEurope



Cladonia chlorophaea est le lichen le plus courant des forêts de conifères scandinaves.

6. LA BIODIVERSITÉ SUR LES PLACETTES DE SURVEILLANCE INTENSIVE

Résumé

- La base de données du programme contient de précieuses informations concernant différents aspects de la diversité biologique des forêts, dont la couverture arbustive et herbacée, les essences, la taille des arbres, l'âge des peuplements et la présence de bois mort. L'étude de ces paramètres, conjuguée à celle des autres données évaluées sur les mêmes placettes telles que les dépôts, les conditions atmosphériques et les agents biotiques, permet au programme d'apporter sa contribution à la discussion internationale sur la diversité biologique forestière.
- La phase test du PIC Forêts visant à affiner les méthodes d'évaluation et le calcul d'indices a été lancée en 2003. Elle vise également à explorer les liens existant entre les principaux facteurs de diversité tels que la structure des peuplements et la végétation.

Introduction

Depuis la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le déve-

loppement (CNUED), qui s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992, la biodiversité des forêts dans le monde entier fait l'objet d'une attention soutenue. Elle est aujourd'hui également considérée comme un des éléments de l'évaluation et de la gestion des écosystèmes, ce qui ne relève pas des activités de la Conférence ministérielle pour la protection des forêts en Europe (MCPFE). Une étude a été menée dans le cadre du programme de surveillance de l'UE/PIC Forêts pour déterminer dans quelle mesure les données actuelles issues de la surveillance intensive peuvent aider à comprendre la biodiversité dans les écosystèmes forestiers, sans perdre de vue le rôle joué par la pollution atmosphérique.

Lien entre la couverture vivante et les influences environnementales

En dehors des arbres, la couverture arbustive et herbacée est l'indicateur de biodiversité le plus puissant sur les placettes de niveau II. Des analyses statistiques ont permis d'étudier le lien existant entre les espèces qui composent la couverture végétale et les dépôts d'azote,

ainsi que de nombreux autres facteurs environnementaux. D'un point de vue statistique, 20 des 63 espèces présentes sur au moins 50 placettes ont montré une réaction importante aux dépôts d'azote. Le chanvre sauvage (*Galeopsis tetrahit*), par exemple, se rencontre essentiellement sur les placettes aux dépôts d'azote plus élevés. La couverture végétale est un puissant bio-indicateur de diverses influences environnementales. Elle fournit des informations intégrées sur la fertilité et l'acidité du sol, la richesse en azote, la disponibilité en eau ou les conditions climatiques et leur changement.

Paramètres de biodiversité disponibles dans le programme actuel

En partant des données existantes, des paramètres décrivant des aspects de la biodiversité ont été testés sur quelques 800 placettes de niveau II. Ces paramètres sont, entre autres, la composition des essences et la structure des peuplements, qui est un composant et indicateur important de la biodiversité forestière. L'âge du peuplement est

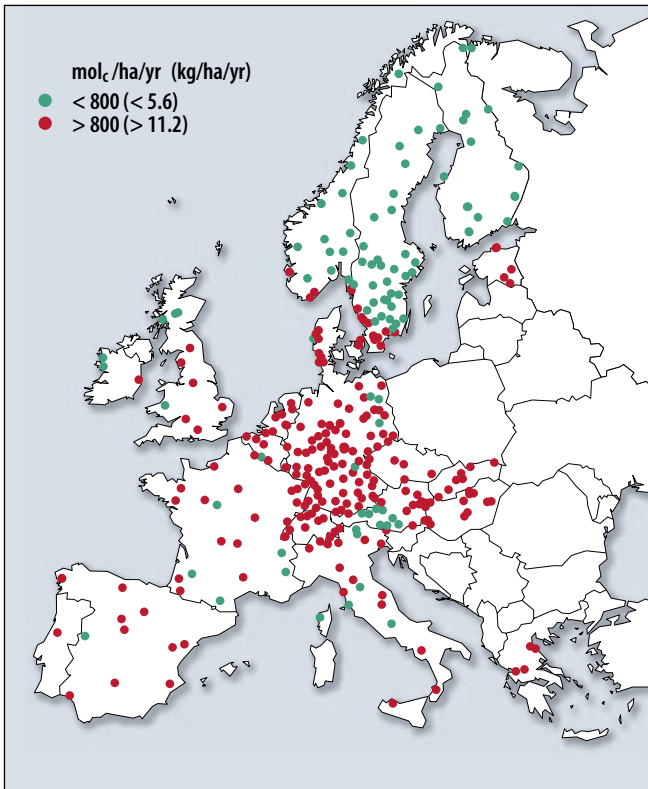


Figure 6-1 : dépôts totaux d'azote sur des placettes de niveau II, 1998 - 2000. Valeurs modélisées en kg/ha/an

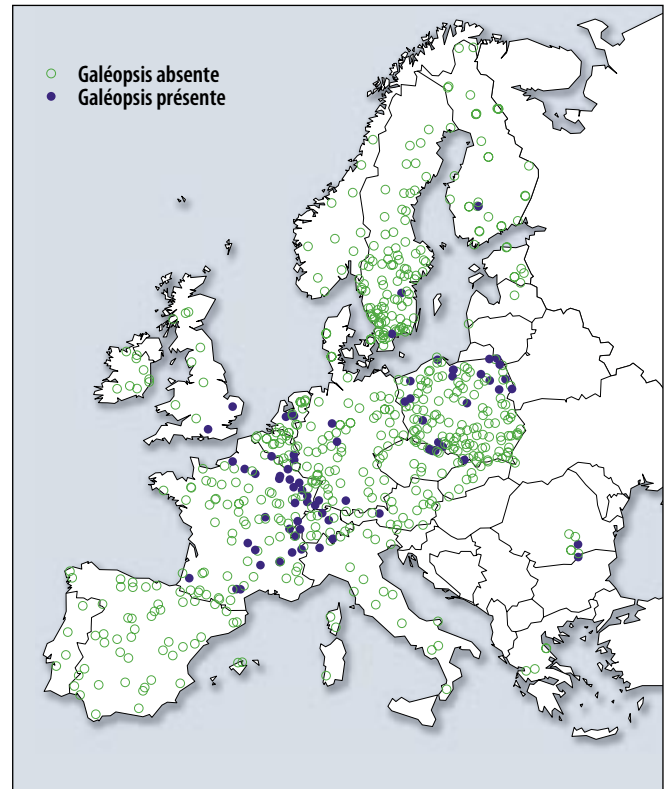


Figure 6-2 : présence du Galéopsis tétrahit sur des placettes de niveau II



Le chanvre sauvage pousse généralement sur des sols riches en éléments nutritifs et fleurit de juin à septembre.



Située au large de la côte tyrrhénienne, en Italie, l'île Zannone est l'un des rares endroits du sud de l'Europe où les forêts n'ont subi quasiment aucune influence humaine directe. De tels vestiges bénéficient aujourd'hui de la plus haute protection et servent de zones de référence pour la gestion durable d'autres forêts. La flore de cette île a néanmoins considérablement évolué au cours des dernières décennies suite au changement climatique.

une information structurelle précieuse car les peuplements anciens offrent généralement un habitat plus riche à de nouveaux groupes d'essences. Le changement de diamètre de tronc dans les peuplements peut également être calculé en partant des données existantes et présente un intérêt particulier du point de vue de la biodiversité puisqu'il est généralement lié à des niches écologiques plus riches. Les autres paramètres structurels de peuplement pouvant être calculés à partir des données existantes sont, entre autres, le nombre d'arbres de grande dimension et le nombre d'arbres morts par hectare. Les paramètres de composition sont le nombre d'essences et le nombre d'espèces arbustives et herbacées qui constituent la couverture végétale.

Perspectives

Le groupe de travail sur la biodiversité d'UE/PIC Forêts a suggéré la réalisation d'études complémentaires pour contribuer à l'évaluation de la biodiversité forestière en Europe. Les études proposées comprennent la surveillance

du lichen épiphytique, des évaluations améliorées de la structure des peuplements, l'application d'une stratification pour définir le type de forêt, des évaluations détaillées de la couverture végétale et des évaluations plus précises du bois mort. Le traitement des données collectées, y compris l'élaboration d'indices spécifiques et leur regroupement éventuel avec des indices plus complets, est une autre tâche importante à laquelle les experts du programme se sont proposés de s'atteler. De même, il est prévu d'explorer les relations entre les principaux facteurs de biodiversité tels que la structure des peuplements et la végétation, et de contribuer ainsi à la mise au point d'indicateurs applicables à un plus grand nombre de placettes. En vue de l'exécution de ces activités, une phase test a été lancée dans le cadre du programme PIC Forêts. La coopération entre les organisations internationales est nécessaire pour atteindre la plus grande synergie possible dans le domaine de la biodiversité.



7. CONCLUSIONS

Principales observations

1. Les forêts d'Europe réagissent aux changements de l'environnement. La pollution atmosphérique est l'une des causes de la modification de l'état des forêts. Divers indicateurs reflètent ces changements :

- En 2002, la défoliation des principales essences est restée élevée puisqu'un cinquième des arbres évalués ont été répertoriés comme endommagés. Le niveau de défoliation a été principalement mis en relation avec des conditions climatiques défavorables, des agents biotiques et la pollution atmosphérique.*
- La diminution des concentrations de soufre dans les aiguilles du pin et de l'épicéa reflète la baisse des dépôts de soufre de ces dernières décennies.*
- Le débourrement plus précoce et l'allongement de la saison de végétation de l'épicéa ont été mis en relation avec les changements climatiques.*

2. Des analyses de scénarios partant de réductions des émissions conformes aux conventions internationales prédisent une diminution des concentrations

de soufre et d'azote dans la solution de sol. La récupération de la phase solide du sol peut être beaucoup plus longue, ce qui signifie que les écosystèmes forestiers souffriront pendant longtemps des charges de dépôt élevés.

3. Les premières évaluations des mesures d'ozone sur les placettes forestières confirment les concentrations élevées d'ozone dans le sud de l'Europe. Des dommages causés par l'ozone ont été visibles sur les feuilles de certaines essences principales telles que le hêtre, ainsi que sur certaines espèces arbustives et herbacées de la couverture végétale que l'on ne savait pas jusqu'alors sensibles à l'ozone.

4. Au niveau européen, piégeage annuel net de carbone dans les arbres s'est révélé être 5 à 7 fois plus élevé que dans les sols forestiers. L'extrapolation à la superficie forestière d'Europe, corrigée de façon à tenir compte des collectes de bois et des incendies de forêt, a abouti à l'estimation d'un taux annuel de piégeage de 0,1 gigatonne de carbone par an. La croissance accrue des forêts, favorisée par des dépôts azotés, a entraîné une augmentation de 5 % du piégeage annuel du carbone.

État des forêts

L'état des forêts européennes change dans les conditions environnementales actuelles. Le PIC Forêts et l'UE gèrent actuellement l'un des plus grands réseaux de biosurveillance du monde, dans le but de quantifier ces changements et d'aider à comprendre les relations de cause à effet.

Dépôts

La pollution atmosphérique est l'une des causes de la variation de l'état des forêts et constitue un domaine important des activités de surveillance du programme. Le présent rapport témoigne de la réussite des réductions d'émissions de soufre réalisées ces dernières décennies. Des analyses de scénario basées sur le protocole de Göteborg de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance prédisent également une diminution des concentrations de nitrates dans la solution du sol de la majorité des placettes. Les dépôts atmosphériques sont cependant toujours en augmentation dans de nombreuses régions qui ont des in-



Forêt en Norvège

dustries en voie de développement, ce qui implique la nécessité d'un bon savoir-faire en matière de surveillance permanente des dépôts. Les réalisations du PIC Forêts et de l'UE dans ce domaine ont été reconnues par le Forum des Nations Unies sur les forêts lors de sa troisième session, et leurs méthodes de surveillance ont été recommandées à d'autres régions du monde.

Piégeage de l'ozone et du carbone

Les concentrations d'ozone supérieures aux niveaux critiques et l'augmentation des concentrations de dioxyde de carbone menacent les écosystèmes forestiers. En 2002, le pourcentage d'arbres dont la couronne est endommagée est resté élevé, et des dommages visibles causés par l'ozone ont été observés sur de nombreuses placettes. On ignore encore comment forestiers réagissent à grande échelle aux concentrations croissantes des gaz à effet de serre et aux changements climatiques ainsi qu'aux interactions complexes entre ces facteurs. Les recherches effectuées sur le terrain montrent d'ores et déjà des in-

teractions entre le dioxyde de carbone et l'ozone. Les résultats du présent rapport décrivent l'effet du dépôt d'azote sur le piégeage du carbone. Grâce à son système unique de placettes de surveillance et à sa base de données, le programme se trouve en position de force pour apporter une base solide de réflexion aux futures politiques environnementales dans ces domaines.

Biodiversité

Plusieurs indicateurs évalués dans le programme montrent que les arbres forestiers réagissent de diverses façons aux conditions environnementales changeantes. De nouvelles méthodes de surveillance vont être mises au point au cours d'une phase test du PIC Forêts sur la biodiversité. Des indicateurs complémentaires aideront à améliorer la documentation disponible sur la diversité des forêts et à en affiner la structure, la composition et la fonction.

Perspectives

Le programme poursuivra ses inventaires réguliers sur l'état des forêts en

Europe. Il continuera à produire des informations importantes et pertinentes sur le plan politique concernant les facteurs d'agression tels que la pollution atmosphérique, et dans ce contexte, il apportera les informations dont on a un besoin urgent sur les changements climatiques et la biodiversité forestière. Les activités de surveillance constitueront ainsi une base solide pour la politique de qualité de l'air et la politique environnementale, ainsi que pour l'avenir de la gestion durable des forêts.

ANNEXE I : FORÊTS, INVENTAIRES ET CLASSES DE DÉFOLIATION DANS LES PAYS EUROPÉENS (2002)

Résultats des inventaires nationaux transmis par les centres de coordination nationaux

| Pays participants | Surface forestière (x 1000 ha) | % de la surface forestière | Maillage (km x km) | Nombre de placettes échantillonnées | Nombre d'arbres échantillonnés | Défoliation de toutes les essences par classes (groupes), études nationales | | |
|----------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---|------|------|
| | | | | | | 0 | 1 | 2-4 |
| Albanie | 1028 | 35.8 | 10x10 | 299 | 8970 | 42.4 | 44.5 | 13.1 |
| Allemagne | 10264 | 28.9 | 4x4/16x16 | 447 | 13534 | 35.1 | 43.5 | 21.4 |
| Autriche | 3878 | 46.2 | 8.7x8.7 | 264 | 7029 | 60.2 | 29.6 | 10.2 |
| Belgique | 691 | 22.8 | 4x4/8x8 | 132 | 3079 | 38.7 | 43.5 | 17.8 |
| Biélorussie | 7845 | 37.8 | 16x16 | 407 | 9690 | 34.9 | 55.6 | 9.5 |
| Bulgarie | 3314 | 29.9 | 4x4/8x8/16x16 | 141 | 5303 | 24.1 | 38.8 | 37.1 |
| Chypre | 298 | 32.2 | 16x16 | 15 | 360 | 30.8 | 66.4 | 2.8 |
| Croatie | 2061 | 36.5 | 16x16 | 80 | 1910 | 38.4 | 41.0 | 20.6 |
| Danemark | 468 | 10.9 | 7x7/16x16 | 20 | 480 | 61.5 | 29.8 | 8.7 |
| Espagne | 11588 | 23.4 | 16x16 | 620 | 14880 | 24.2 | 59.4 | 16.4 |
| Estonie | 2249 | 49.9 | 16x16 | 93 | 2169 | 45.9 | 46.5 | 7.6 |
| Finlande | 20032 | 65.8 | 16x16/24x32 | 457 | 8593 | 54.6 | 33.9 | 11.5 |
| France | 14591 | 26.6 | 16x16 | 518 | 10355 | 40.1 | 38.0 | 21.9 |
| Fédération de Russie | 8125 | 73.2 | variable | 183 | 4144 | 37.9 | 51.2 | 10.9 |
| Grèce | 2512 | 19.5 | 16x16 | 75 | 1768 | 42.1 | 37.0 | 20.9 |
| Hongrie | 1804 | 19.4 | 4x4 | 1143 | 26921 | 38.1 | 40.7 | 21.2 |
| Irlande | 436 | 6.3 | 16x16 | 21 | 424 | 43.9 | 35.4 | 20.7 |
| Italie | 8675 | 28.8 | 16x16 | 258 | 7165 | 20.3 | 42.4 | 37.3 |
| Lettonie | 2902 | 44.9 | 8x8 | 364 | 8682 | 19.8 | 66.4 | 13.8 |
| Liechtenstein | 8 | 50.0 | | | | | | |
| Lituanie | 1858 | 28.5 | 8x8/16x16 | 220 | 5162 | 16.4 | 70.8 | 12.8 |
| Luxembourg | 89 | 34.4 | | | | | | |
| Norvège | 12000 | 37.1 | 3x3/9x9 | 1504 | 7421 | 35.0 | 39.5 | 25.5 |
| Pays-Bas | 334 | 9.6 | 16x16 | 11 | 231 | 57.1 | 21.2 | 21.7 |
| Pologne | 8756 | 28.0 | variable | 1229 | 24580 | 8.8 | 58.5 | 32.7 |
| Portugal | 3234 | 36.4 | 16x16 | 145 | 4350 | 47.8 | 42.6 | 9.6 |
| Roumanie | 6244 | 26.3 | 4x4 | 4028 | 104366 | 62.7 | 23.8 | 13.5 |
| Royaume-Uni | 2156 | 8.9 | aléatoire | 356 | 8532 | 27.3 | 45.4 | 27.3 |
| Rép. de Moldavie | 318 | 9.4 | 2x2 | 480 | 11489 | 25.2 | 32.3 | 42.5 |
| Rép. de Slovaquie | 1961 | 40.0 | 16x16 | 111 | 4207 | 17.3 | 57.9 | 24.8 |
| République tchèque | 2630 | 33.4 | 8x8/16x16 | 140 | 7013 | 11.6 | 35.0 | 53.4 |
| Serbie/Monténégro | | | 16x16 | 46 | 1104 | 80.8 | 15.3 | 3.9 |
| Slovénie | 1099 | 54.2 | 16x16 | 39 | 936 | 32.3 | 39.6 | 28.1 |
| Suisse | 1186 | 28.7 | 16x16 | 49 | 1064 | 23.4 | 58.0 | 18.6 |
| Suède | 23400 | 57.1 | variable | 4180 | 16671 | 49.2 | 35.0 | 15.8 |
| Turquie | 20199 | 25.9 | | | | | | |
| Ukraine | 9316 | 15.4 | 16x16 | 49 | 1204 | 8.9 | 63.4 | 27.7 |
| TOTAL | 197549 | | variable | 18124 | 333786 | | | |

Grèce : à l'exclusion du maquis.

Serbie et Monténégro : uniquement le Monténégro.

Suède, Norvège : inventaire spécial du bouleau.

Fédération russe : inventaires régionaux uniquement dans des parties de la

Fédération russe situées au nord-ouest et au centre de l'Europe.

On notera que certaines différences de niveaux de dégradation de part et d'autre des frontières nationales peuvent résulter, du moins en partie, de différences dans les normes utilisées. Toutefois, cet-

te restriction n'affecte pas la fiabilité des tendances dans le temps.

ANNEXE II: DÉFOLIATION DE TOUTES LES ESSENCES (1991-2002)

Résultats des inventaires nationaux transmis par les centres de coordination nationaux

| Pays participants | Toutes les essences Classes de défoliation 2 à 4 | | | | | | | | | | | | Changements en % | |
|----------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|--|
| | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2001 / 2002 | |
| Albanie | | | | | | | | 9.8 | 9.9 | 10.1 | 10.2 | 13.1 | 2.9 | |
| Allemagne | 25.2 | 26.4 | 24.2 | 24.4 | 22.1 | 20.3 | 19.8 | 21.0 | 21.7 | 23.0 | 21.9 | 21.4 | -0.5 | |
| Autriche | 7.5 | 6.9 | 8.2 | 7.8 | 6.6 | 7.9 | 7.1 | 6.7 | 6.8 | 8.9 | 9.7 | 10.2 | 0.5 | |
| Belgique | 17.9 | 16.9 | 14.8 | 16.9 | 24.5 | 21.2 | 17.4 | 17.0 | 17.7 | 19.0 | 17.9 | 17.8 | -0.1 | |
| Biélorussie | | 29.2 | 29.3 | 37.4 | 38.3 | 39.7 | 36.3 | 30.5 | 26.0 | 24.0 | 20.7 | 9.5 | -11.2 | |
| Bulgarie | 21.8 | 23.1 | 23.2 | 28.9 | 38.0 | 39.2 | 49.6 | 60.2 | 44.2 | 46.3 | 33.8 | 37.1 | 3.3 | |
| Chypre | | | | | | | | | | | 8.9 | 2.8 | -6.1 | |
| Croatie | | 15.6 | 19.2 | 28.8 | 39.8 | 30.1 | 33.1 | 25.6 | 23.1 | 23.4 | 25.0 | 20.6 | -4.4 | |
| Danemark | 29.9 | 25.9 | 33.4 | 36.5 | 36.6 | 28.0 | 20.7 | 22.0 | 13.2 | 11.0 | 7.4 | 8.7 | 1.3 | |
| Espagne | 7.4 | 12.3 | 13.0 | 19.4 | 23.5 | 19.4 | 13.7 | 13.6 | 12.9 | 13.8 | 13.0 | 16.4 | 3.4 | |
| Estonie | * | * | * | * | * | * | * | 8.7 | 8.7 | 7.4 | 8.5 | 7.6 | -0.9 | |
| Finlande | 16.0 | 14.5 | 15.2 | 13.0 | 13.3 | 13.2 | 12.2 | 11.8 | 11.4 | 11.6 | 11.0 | 11.5 | 0.5 | |
| France | 7.1 | 8.0 | 8.3 | 8.4 | 12.5 | 17.8 | 25.2 | 23.3 | 19.7 | 18.3 | 20.3 | 21.9 | 1.6 | |
| Fédération de Russie | | | | 10.7 | 12.5 | | | | | | 9.8 | 10.9 | 1.1 | |
| Grèce | 16.9 | 18.1 | 21.2 | 23.2 | 25.1 | 23.9 | 23.7 | 21.7 | 16.6 | 18.2 | 21.7 | 20.9 | -0.8 | |
| Hongrie | 19.6 | 21.5 | 21.0 | 21.7 | 20.0 | 19.2 | 19.4 | 19.0 | 18.2 | 20.8 | 21.2 | 21.2 | 0.0 | |
| Irlande | 15.0 | 15.7 | 29.6 | 19.7 | 26.3 | 13.0 | 13.6 | 16.1 | 13.0 | 14.6 | 17.4 | 20.7 | 3.3 | |
| Italie | 16.4 | 18.2 | 17.6 | 19.5 | 18.9 | 29.9 | 35.8 | 35.9 | 35.3 | 34.4 | 38.4 | 37.3 | -1.1 | |
| Lettonie | | 37.0 | 35.0 | 30.0 | 20.0 | 21.2 | 19.2 | 16.6 | 18.9 | 20.7 | 15.6 | 13.8 | -1.8 | |
| Liechtenstein | | 16.0 | | | | | | | | | | | | |
| Lituanie | 23.9 | 17.5 | 27.4 | 25.4 | 24.9 | 12.6 | 14.5 | 15.7 | 11.6 | 13.9 | 11.7 | 12.8 | 1.1 | |
| Luxembourg | 20.8 | 20.4 | 23.8 | 34.8 | 38.3 | 37.5 | 29.9 | 25.3 | | 23.4 | | | | |
| Norvège | 19.7 | 26.2 | 24.9 | 27.5 | 28.8 | 29.4 | 30.7 | 30.6 | 28.6 | 24.3 | 27.2 | 25.5 | -1.7 | |
| Pays-Bas | 17.2 | 33.4 | 25.0 | 19.4 | 32.0 | 34.1 | 34.6 | 31.0 | | 21.8 | 19.9 | 21.7 | 1.8 | |
| Pologne | 45.0 | 48.8 | 50.0 | 54.9 | 52.6 | 39.7 | 36.6 | 34.6 | 30.6 | 32.0 | 30.6 | 32.7 | 2.1 | |
| Portugal | 29.6 | 22.5 | 7.3 | 5.7 | 9.1 | 7.3 | 8.3 | 10.2 | 11.1 | 10.3 | 10.1 | 9.6 | -0.5 | |
| Roumanie | 9.7 | 16.7 | 20.5 | 21.2 | 21.2 | 16.9 | 15.6 | 12.3 | 12.7 | 14.3 | 13.3 | 13.5 | 0.2 | |
| Royaume-Uni | 56.7 | 58.3 | 16.9 | 13.9 | 13.6 | 14.3 | 19.0 | 21.1 | 21.4 | 21.6 | 21.1 | 27.3 | 6.2 | |
| Rép. de Moldavie | | | 50.8 | | 40.4 | 41.2 | | | | 29.1 | 36.9 | 42.5 | 5.6 | |
| Rép. de Slovaquie | 28.5 | 36.0 | 37.6 | 41.8 | 42.6 | 34.0 | 31.0 | 32.5 | 27.8 | 23.5 | 31.7 | 24.8 | -6.9 | |
| République tchèque | 45.3 | 56.1 | 51.8 | 57.7 | 58.5 | 71.9 | 68.6 | 48.8 | 50.4 | 51.7 | 52.1 | 53.4 | 1.3 | |
| Serbie/Monténégro | 9.8 | | | | | 3.6 | 7.7 | 8.4 | 11.2 | 8.4 | 14.0 | 3.9 | -10.1 | |
| Slovénie | 15.9 | | 19.0 | 16.0 | 24.7 | 19.0 | 25.7 | 27.6 | 29.1 | 24.8 | 28.9 | 28.1 | -0.8 | |
| Suisse | 16.1 | 12.8 | 15.4 | 18.2 | 24.6 | 20.8 | 16.9 | 19.1 | 19.0 | 29.4 | 18.2 | 18.6 | 0.4 | |
| Suède | * | * | * | * | 14.2 | 17.4 | 14.9 | 14.2 | 13.2 | 13.7 | 17.5 | 15.8 | -1.7 | |
| Turquie | | | | | | | | | | | | | | |
| Ukraine | 6.4 | 16.3 | 21.5 | 32.4 | 29.6 | 46.0 | 31.4 | 51.5 | 56.2 | 60.7 | 39.6 | 27.7 | -11.9 | |

République tchèque : jusqu'en 1997, uniquement les arbres de plus de 60 ans.

France : en raison de changements méthodologiques, les séries 1990-1994 et 1997-2001 sont seules cohérentes, mais ne sont pas comparables entre elles.

Allemagne : en 1990, données concernant uniquement l'ex-RFA.

Grèce : à l'exclusion du maquis.

Italie : en raison de changements méthodologiques, les séries 1989-1996 et 1997-2001 sont seules cohérentes, mais non comparables entre elles.

Serbie et Monténégro : en 2002, uniquement le Monténégro.

Fédération russe : inventaires régionaux

uniquement dans des parties de la Fédération russe situées au nord-ouest et au centre de l'Europe.

Royaume-Uni : les différences entre 1992 et les années suivantes proviennent essentiellement du réalignement de la méthode d'évaluation sur celle des autres États.

* = uniquement les conifères

ANNEXE III

Essences citées dans le texte

| | |
|-------------------|-------------------------|
| Pin d'Alep : | <i>Pinus halepensis</i> |
| Hêtre commun : | <i>Fagus sylvatica</i> |
| Chêne pédonculé : | <i>Quercus robur</i> |
| Aulne gris : | <i>Alnus incana</i> |
| Chêne vert : | <i>Quercus ilex</i> |
| Pin maritime: | <i>Pinus pinaster</i> |
| Épicéa commun: | <i>Picea abies</i> |
| Pin sylvestre: | <i>Pinus sylvestris</i> |
| Chêne rouvre : | <i>Quercus petraea</i> |
| Sapin blanc: | <i>Abies alba</i> |

Photographies

D. Aamlid : p. 7, 10, 22, 23, 33 en bas, 35, 38/39 ; E. Beuker : p. 20; A. Fischer p. 31 ; R. Fischer : p. 13, 18, 30, 33 en haut, 37; A. Fürst : p. 21 à droite ; H.-D. Gregor : p. 6 ; K. Häberle : p. 29 en haut ; D. Karnosky : p. 29 en bas ; J. Kribbel : p. 36 ; M. Lorenz : p. 8/9 ; S. Meining : p. 19 à droite ; M. Minaya : p. 26 ; E. Oksanen : p. 11, 21 à gauche ; M.J. Sanz : p. 28 à droite ; M. Schaub : p. 28 au centre et à gauche ; H. Schröter : p. 19 au centre et à gauche ; W. Seidling : p. 14

Pour plus d'informations, contacter également :

Institut national de la recherche forestière

CCP PIC Forêts

À l'attention du Dr M. Lorenz, R. Fischer

Leuschnerstr. 91

D-21031 HAMBOURG

Commission européenne

DG AGRICULTURE, 3e étage

Rue de la Loi 130

B-1040 Bruxelles

Internet:

<http://www.icp-forests.org> (PIC Forêts)

<http://europa.eu.int/comm/agriculture> (Commission européenne)

<http://www.fimci.nl> (Centre de coordination de la surveillance intensive des forêts)

PAYS PARTICIPANTS ET CONTACTS

- Albanie** : Ministry of the Environment, Dep. of Biodiversity and Natural Resources Management, e-mail: cep@cep.tirana.al, Rruga e Durresit Nr. 27, Tirana.
- Allemagne** : Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft– Ref. 533, Herrn Thomas Haußmann, e-mail: thomas.haussmann@bmvel.bund.de, Postfach 140270, D-53107 Bonn.
- Autriche** : Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Herrn Ferdinand Kristöfel, ferdinand.kristoefel@fbva.bmlf.gv.at, Seckendorff-Gudent-Weg 8, A-1131 Wien.
- Belgique** : Wallonie, Ministère de la Région Wallonne, division de la Nature et des Forêts, M. C. Laurent, c.laurent@mrw.wallonie.be, Avenue Prince de Liège, 15, B-5000 Namur.
- Flandre, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Dhr. Peter Roskams, e-mail: peter.roskams@lin.vlaanderen.be, Gaverstraat 4, B-9500 Geraardsbergen.
- Biélorussie** : Forest Inventory republican unitary company “Belgosles”, Mr. V. Kastsiukevich, e-mail: belgosles@open.minsk.by, 27, Zheleznodorozhnaja St., 220089 Minsk.
- Bosnie et Herzégovine** : Federalno Ministarstvo Poljop. Vodop. Sum., Mr. Bajram Pescovic, Maršala Tita br. 15, Sarajevo.
- Bulgarie** : Ministry of Environment and Waters, Ms. Penka Stoichkova, e-mail: pafmon@nfp-bg.eionet.eu.int, 136, Tzar Boris III blvd., BG-1618 Sofia.
- Canada** : Canadian Forest Service, Mr. Harry Hirvonen, e-mail: hirvonen@nrcan.gc.ca, 580 Booth Street – 7th Floor, CDN-Ottawa, ONT K1A 0E4. Québec : Ministère des Ressources naturelles, M. Rock Ouimet, rock.ouimet@mrn.gouv.qc.ca, 2700, Einstein, CDN-STE. FOY - Québec G1P 3W8.
- Chypre** : Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Mr. Andreas K. Christou, Publicity@cytanet.com.cy, P.O.Box 4157, CY-1414-Lefkosia.
- Croatie** : Sumarski Institut, Mr. Joso Gracan, e-mail: josog@sumins.hr, Cvjetno Naselje 41, 10450 Jastrebarsko.
- Danemark** : Danish Forest and Landscape Research Institute, Ms Anne Marie Bastrup-Birk, e-mail: abb@fsl.dk, Hörsholm Kongevej 11, DK-2970 Hörsholm.
- Espagne** : Dirección General de Conservación de la Naturaleza (DGCN), Mr. Sanchez Peña, e-mail: gsanchez@mma.es, Gran Vía de San Francisco, 4, E-28005 Madrid.
- Estonie** : Estonian Centre for Forest Protection and Silviculture, Mr. Kalle Karoles, e-mail: kalle.karoles@metsad.ee, Rõõmu tee 2, EE-51013 Tartu.
- États-Unis d'Amérique** : Forest Health Monitoring Program, Forestry Sciences Laboratory, P.O. Box 12254, USA-Research Triangle Park, NC 27709.
- Finlande** : Finnish Forest Research Institute, Mr. Hannu Raitio, e-mail: hannu.raitio@metla.fi, Kaironientie 54, FIN-39700 Parkano.
- France** : Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales, M. Jean-Luc Flot, e-mail : jean-luc.flot@agriculture.gouv.fr, 19, avenue du Maine, F-55732 Paris Cedex 15
- Grèce** : Institute of Mediterranean Forest Ecosystems, Mr. George Baloutsos, Mr. Anastasios Economou, e-mail: oika@fria.gr, Terma Alkmanos, GR-11528 Athens-Ilyissia.
- Hongrie** : Forest Management Planning Service, Mr. Andras Szepesi, e-mail: szepesi.andras@aeszh.hu, Széchenyi u. 14, H-1054 Budapest 5.
- Irlande** : Coillte Teoranta, Research and Development, Mr. Pat Neville, e-mail: neville_p@coillte.ie, Newtownmountkennedy, IRL- CO. Wicklow.
- Italie** : Ministry for Agriculture and Forestry Policy, Conecofor Service, Mr. Davide De Laurentis, conecofor@corpoforestale.it, Via Sallustiana 10, I-00187 Roma.
- Lettonie** : State Forest Service of Latvia, Ms Liene Suveizda, e-mail: liene@vmd.gov.lv, 13. Janvara iela 15, LV-1932 Riga.
- Liechtenstein** : Amt für Wald, Natur und Landschaft, Herrn Felix Näscher, e-mail: felix.naescher@awnl.llv.li, Dr. Grass-Strasse 10, FL-9490 Vaduz.
- Lithuanie** : State Forest Survey Service, Mr. Andrius Kuliesis, e-mail: vmt@lvmi.lt, Pramones ave. 11a, LT-3031 Kaunas.
- Luxembourg** : Administration des Eaux et Forêts, M. Jean-Pierre Arend, e-mail: Jean-Pierre.Arend@ef.etat.lu, 16, rue Eugène Ruppert, L-2453 Luxembourg-Ville (Cloche d'Or).
- Moldavie** : State Forest Agency, Mr. Dumitru Galupa, e-mail: Galupa@moldovacc.md, 124 bd. Stefan Cel Mare, MD-2012 Chisinau.
- Norvège** : Norwegian Forest Research Institute, Mr. Dan Aamlid, e-mail: dan.aamlid@skogforsk.no, Høgskolevn. 12, N-1432 ÅS.
- Pays-Bas** : Ministry of Agriculture, Nature Management & Fisheries, Mr. G. Grimberg, g.t.m.grimberg@eclnv.agro.nl, Postbus 30, Marijke wag 24, NL-6700 AA Wageningen.
- Pologne** : Forest Research Institute, Mr. Jerzy Wawrzoniak, e-mail: j.wawrzoniak@ibles.waw.pl, Bitwy Warszawskiej 1920 nr. 3, PL-00973 Warszawa.
- Portugal** : Ministerio da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, Direcção Geral das Florestas, Divisao de Defesa e Protecção dos Arvoredos, Ms Maria Barros, e-mail: mbarros@dgf.min-agricultura.pt, Av. Joao Crisostomo 28-6°, P-1069-040 Lisboa.
- Roumanie** : Forest Research and Management Institute, Mr. Romica Tomescu/ Mr. Ovidiu Badea, e-mail: biometrie@icas.ro, Sos. Stefanesti nr. 128 sector 2, RO-72904 Bukarest.
- Royaume-Uni** : Forest Research Station, Alice Holt Lodge, Wrecclesham, Mr. Andrew J. Moffat, andy.moffat@forestry.gsi.gov.uk, UK-Farnham-Surrey GU10 4LH.
- Fédération russe** : St. Petersburg State University (SpbSU). Biological Research Institute, Ms Natalia Goltsova, e-mail: Natalia.Goltsova@pobox.spbu.ru, Oranienbaumskoe schosse 2, RUS-198504 Petrodvoretz.
- Serbie et Monténégro** : Institute for Forestry, Mr. Radovan Nevenic, e-mail: nevenic@Eunet.yu, Kneza Visislava street 3, YU-11000 Novi-Beograd.
- République slovaque** : Lesnický výskumny ústav, Mr. Tomáš Bucha, e-mail: tomas.bucha@fris.sk, T.G. Masaryka 22, SK-96092 Zvolen.
- Slovénie** : Gozdarski Institut Slovenije, Mr. Marko Kovac, e-mail: marko.kovac@gozdis.si, Vecna pot 2, SLO-1000 Ljubljana.
- Suède** : National Board of Forestry, Mr. Sture Wijk, e-mail: sture.wijk@svo.se, Vallgatan 6, S-551 83 Jönköping.
- Suisse** : Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Mr. Norbert Kräuchi, e-mail: kraeuchi@wsl.ch, Zürcherstr. 111, CH-8903 Birmensdorf.
- République tchèque** : Forestry and Game Management Research Institute (VULHM), Mr Bohumir Lomsky, e-mail: lomsky@vulhm.cz, Strnady 136, CZ-15604 Praha 516, Zbraslav.
- Turquie** : Ormancilik Arastirma Enstitüsü Müdürlüğü, Mr. Yasar Simsek, P.K. 24 Bahcelievler, TR-06561 Gazi-Ankara.
- Ukraine** : Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, Mr. Igor F. Buksha, e-mail: buksha@uriffm.com.ua, Pushkinskaja 86, UKR-61024 Kharkiv.

