

OFEFP/Direction fédérale des forêts, Berne
Institut de recherches sur la forêt, la neige et le paysage
FNP, Birmensdorf

Rapport Sanasilva sur les dégâts aux forêts 1991

Berne et Birmensdorf, novembre 1991

Diffusion:

Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, FNP, Bibliothèque
8903 Birmensdorf

Responsables scientifiques

Résumé et commentaires

Prof. Rodolphe Schlaepfer, Directeur

Frank Haemmerli, collaborateur scientifique

FNP, Birmensdorf

1. Résultats de l'Inventaire des dégâts aux forêts 1991
Peter Brassel, Section Inventaire forestier national FNP,
Birmensdorf
2. Evolution des dégâts dans les régions tests d'Altdorf, de
Flims et de Zofingue
Daniel Lüscher, Télédétection
FNP, Birmensdorf
3. Résultats du Programme national de recherche
«Dépérissement des forêts et pollution de l'air en Suisse»
Martin Stark, Chef du PNR 14
4. Les dégâts aux forêts de 1990 en Europe
Pierre Mühlemann
OFEFP, Direction fédérale des forêts, Berne

Schéma directeur

Coordination du Programme Sanasilva

Rédaction

Charles von Büren, Presse et information, FNP, Birmensdorf

Traduction

Monique Dousse, FNP, Birmensdorf

(Chapitre 4 rédigé par Pierre Mühlemann, Berne)

Lecture et critique de la traduction

Jean-Bernard Chappuis, Le Sentier

Maquette

Bruno Crivelli, Publications, FNP, Birmensdorf

Mise en page

Jacqueline Gilgien

Graphiques et couverture

Doris Pichler, Publications, FNP, Birmensdorf

Couverture

Les classes de 5 et de 45 pour cent de défoliation du hêtre
(Fagus silvatica L.)

Table des matières

	Résumé et commentaires	5
1	Résultats de l'inventaire des dégâts aux forêts 1991	6
	Ampleur et évolution des dégâts aux arbres de plus de 12 cm de diamètre	6
	Dégâts par essence	8
	Evolution nationale et régionale des dégâts	10
	Défoliations imputables à des causes connues	13
	Dégâts dus aux tempêtes et à la pourriture	13
	Dégâts dus aux tempêtes et défoliations	14
	Influence des exploitations sur le résultat de l'inventaire	14
	Buts de l'inventaire des dégâts aux forêts	14
	Avenir de l'inventaire des dégâts aux forêts	15
	Méthodes: Dispositif d'échantillonnage	15
	Nombre des données	15
	Pondération des données individuelles	16
	Exécution de l'inventaire	16
	Estimation du taux de défoliation	16
	Définition des classes de dégâts	16
	Fixation de la limite entre les arbres sains et atteints	16
	Fiabilité des résultats	16
2	Evolution des dégâts dans les régions tests d'Altdorf, de Flims et de Zofingue	18
3	Résultats du Programme national de recherche «Dépérissement des forêts et pollution de l'air en Suisse»	22
4	Les dégâts aux forêts en Europe, 1990	27

But du rapport

Ce document a pour but de donner des renseignements sur l'état et l'évolution de la santé des forêts suisses. Il doit fournir aux autorités compétentes les bases dont elles ont besoin pour ordonner à temps les mesures appropriées à la lutte contre les dégâts. Par le biais des médias, ce rapport diffusera à un large public les connaissances acquises sur l'état de nos forêts.

Résumé et commentaires

La santé des forêts suisses s'est détériorée par rapport à 1990. La proportion des arbres ayant un taux de défoliation supérieur à 25 pour cent (classes 2 à 4) est monté de 17 à 19 pour cent. Depuis le début de la période d'observation en 1985, la transparence des houppiers de la forêt suisse tend à augmenter.

Les essences les plus communes de nos forêts, l'épicéa et le hêtre, inscrites dans les classes 2 à 4 ne se sont guère modifiées entre 1990 et 1991. L'augmentation générale de transparence du houppier affecte surtout le sapin, le pin et le chêne.

Dans les zones de montagne, le pourcentage des arbres dégarnis n'a que légèrement augmenté depuis 1990. Dans les zones de plaine par contre, on observe une nette progression de la transparence du houppier. Sur le Plateau, la proportion des arbres enregistrés dans les classes 2 à 4 a plus que doublé (elle passe de 6 à 14 pour cent).

Les modifications annuelles des arbres ayant un taux de défoliation de 15 à 25 pour cent (classe 1) ne doivent pas être interprétées au-delà de leur importance. Mais l'évolution à moyen terme des arbres marquant une transparence chiffrée à plus de 25 pour cent (classes 2 à 4) mérite toute notre attention. En effet, les résineux comme les feuillus ont une tendance accrue à se dégarnir depuis six ans, aussi bien en montagne qu'en plaine. Cette constatation n'est guère réjouissante car nous ne connaissons pas les raisons de cette évolution.

La recherche internationale sur les dégâts aux forêts montre que les peuplements d'Europe et d'Amérique du Nord souffrent de diverses maladies complexes. Pour la forêt suisse, le critère «transparence du houppier» est déterminant. Il n'existe que peu de cas où l'on peut émettre des hypothèses plausibles indiquant la présence d'une relation de cause à effet. Nous pensons par exemple au jaunissement des aiguilles de l'épicéa dans les Fichtelgebirge (Allemagne) imputable à des carences en magnésium ou à la maladie des sapins et des épicéas décelée dans les Vosges (France).

L'apparition et le développement de maladies aussi complexes sont l'oeuvre d'une action combinée de plusieurs facteurs.

Les résultats du programme national de recherches 14+ ne révèlent pas de relation, ni dans le temps ni dans l'espace, entre la pollution atmosphérique et la transparence des houppiers observés dans les trois aires forestières de Lägeren, Alptal et Davos. Sur celle de Davos, située en montagne, la charge d'immissions est faible en général et le niveau de défoliation est élevé. A Lägeren, sur le Plateau où l'habitat est dense, la situation s'inverse: la charge d'immissions est élevée mais la transparence est faible. Aucune de ces surfaces ne présente pour le moment un symptôme de surfertilisation des épicéas due à de l'azote d'origine atmosphérique. Il ne semble pas non plus que l'approvisionnement en substances nutritives ait été compromis sous l'effet de précipitations acides. Cependant, il n'est pas possible de généraliser sans autres cette constatation à l'ensemble de la forêt suisse.

D'après les résultats d'analyses du sol et d'expériences faites sur de jeunes plantes, il faut néanmoins considérer la pollution atmosphérique comme un facteur de risques pour la forêt suisse. L'actuelle charge d'ozone n'est pas sans danger pour plusieurs essences forestières. Mesurées selon les normes de la toxicologie, les concentrations d'ozone contenues dans l'environnement ne sont pas loin de celles ayant produit des dommages décelables aux pins sylvestres et aux bouleaux au cours d'essais de gazage. D'après les connaissances acquises, il est difficile d'estimer les risques à long terme que représentent pour la forêt l'effet de serre ou les actuels apports d'azote et d'acides consécutifs aux activités de l'homme.

En présence des risques existants, il importe de soutenir toute disposition capable de diminuer les charges nocives contenues dans l'air, dans le sol et dans l'eau. Du point de vue scientifique, les chercheurs connaissent encore trop peu de choses sur le jeu des influences causales s'exerçant en forêt pour recommander un choix de priorités à la politique environnementale.

1 Résultats de l'Inventaire des dégâts aux forêts 1991

L'état du houppier des arbres de l'ensemble des forêts suisses s'est encore détérioré depuis 1990. La proportion des arbres ayant un taux de défoliation supérieur à 25 pour cent (classes de dégâts 2 à 4) a passé de dix-sept à dix-neuf pour cent. Elle atteint ainsi le niveau le plus élevé depuis le début des inventaires des dégâts aux forêts en 1985. L'évolution est différente d'une région à l'autre. Dans les classes de dégâts 2 à 4, le Sud des Alpes est le plus touché, avec un taux de 26 pour cent. Le Plateau compte une augmentation de 8 pour cent, ce qui le place à 14 pour cent; le Jura atteint 21 pour cent, soit 3 de plus que l'année passée et le Sud des Alpes passe 24 à 26 pour cent. Une légère amélioration est à noter dans les Alpes et les Préalpes. Dans l'ensemble du pays, la proportion d'arbres avec un taux de défoliation supérieur à 10 pour cent (classes de dégâts 1 à 4, classe d'alerte incluse) augmente de 61 à 68 pour cent. L'inventaire ne vise pas à expliquer les causes des phénomènes observés et les méthodes actuelles ne permettent pas non plus d'atteindre ce but.

Résultats

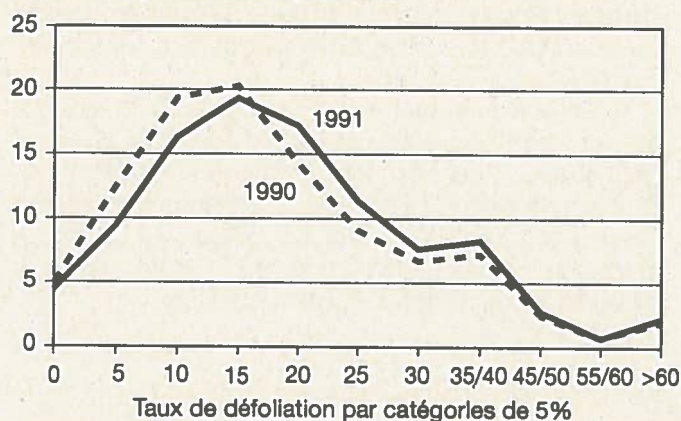
Ampleur et évolution aux dégâts des arbres de plus de 12 cm de diamètre

La répartition des fréquences des taux de défoliation, par catégories de 5 pour cent, permet de détailler les résultats de l'Inventaire des dégâts aux forêts (IDF). Ces valeurs constituent la base du tableau des classes de

dégâts. Les résineux atteints d'une défoliation de 20 à 40 pour cent sont plus nombreux que l'année passée et ceux occupant la plage de 0 à 15 pour cent sont en moins grand nombre. Chez les feuillus, cette augmentation touche les catégories de 15 à 30 pour cent.

La proportion d'arbres fortement dégarnis et d'arbres secs (>60%) reste inchangée.

Proportions pondérées en pour-cent

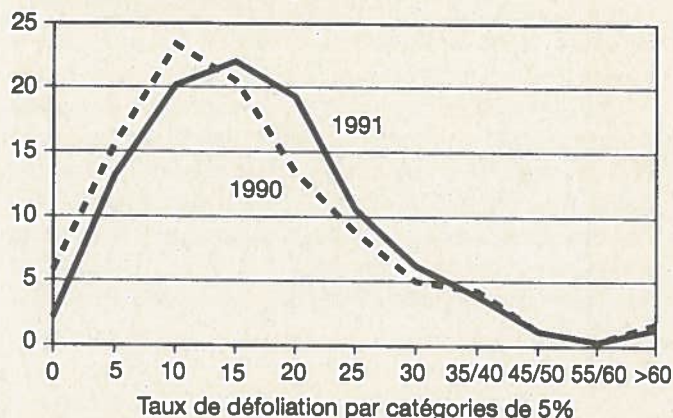


Résineux:

Taux de défoliation par catégories de 5 pour cent.

Proportions pondérées des résineux lors des inventaires des dégâts de 1990 et de 1991.

Proportions pondérées en pour-cent



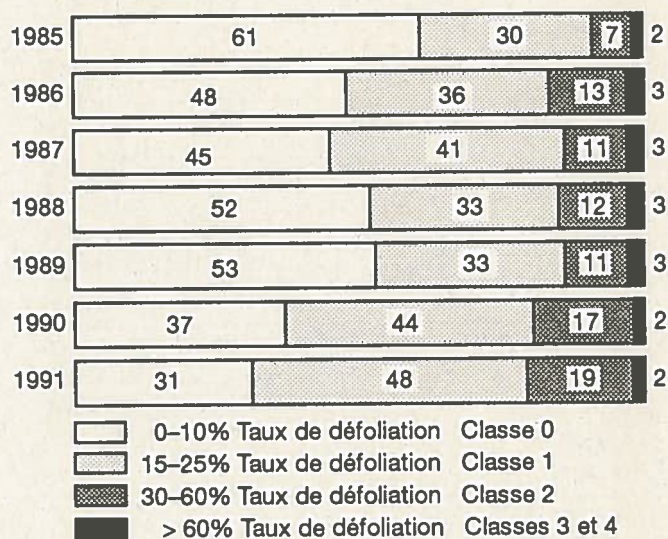
Feuillus:

Taux de défoliation par catégories de 5 pour cent.

Proportions pondérées des feuillus lors des inventaires des dégâts de 1990 et de 1991.

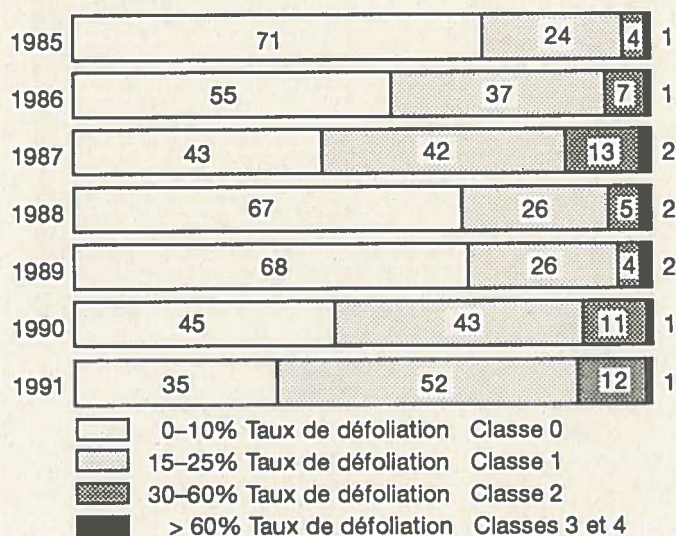
Après la détérioration déjà évidente l'année passée, les cimes des résineux et des feuillus ont encore une légère tendance à se dégarnir. D'après les chiffres figurant au tableau des classes de dégâts, on constate que l'amélioration de 1988 et 1989 ne s'est pas confirmée depuis lors. Cette progression est plus évidente chez les résineux que les chez les feuillus dont la variation est plus grande puisque leur verdure se renouvelle chaque année.

Résineux



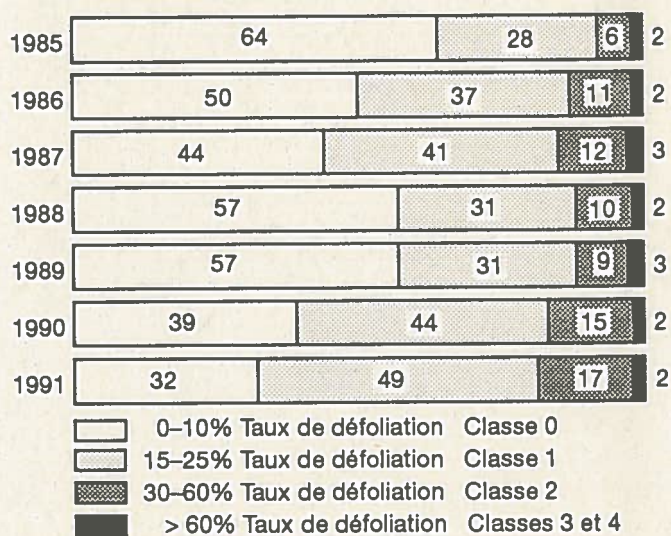
Proportions pondérées des taux de défoliation de 1985 à 1991 pour les résineux.

Feuillus



Proportions pondérées des taux de défoliation de 1985 à 1991 pour les feuillus.

Toutes les essences



Proportions pondérées des taux de défoliation de 1985 à 1991 pour toutes les essences.

Dégâts par essence

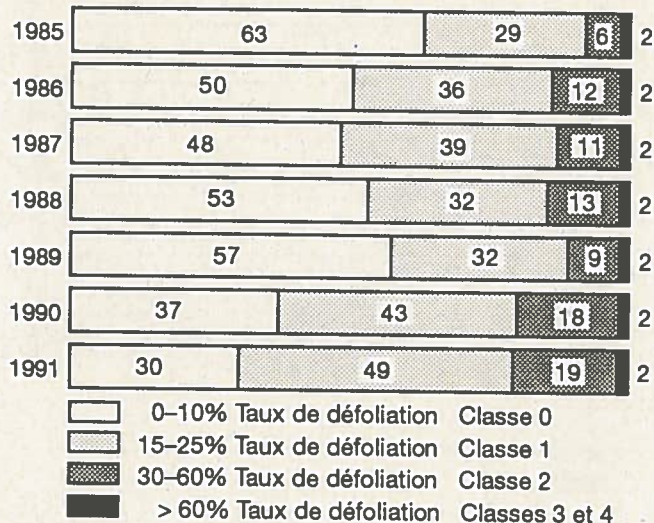
La proportion d'**épicéas** inscrits dans les classes de dégâts 2 à 4 passe de 20 à 21 pour cent et de 63 à 70 pour cent si l'on y ajoute la classe 1.

Le **sapin** augmente son taux de défoliation de 5 pour cent (classes 2 à 4).

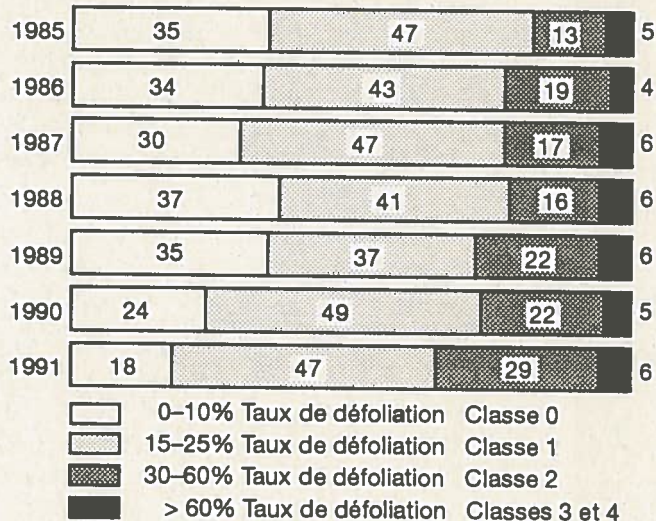
Le **pin**, l'essence au houppier le plus touché l'année passée déjà, passe de 27 à 35 pour cent (classes 2 à 4).

L'état du **mélèze** ne s'est que peu modifié.

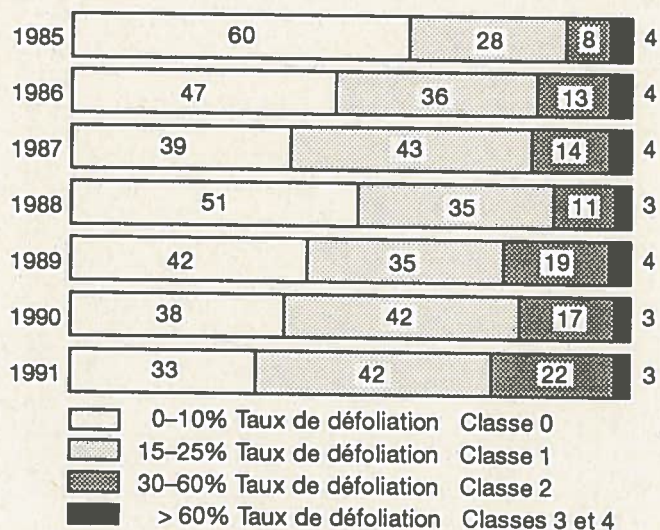
Epicéa



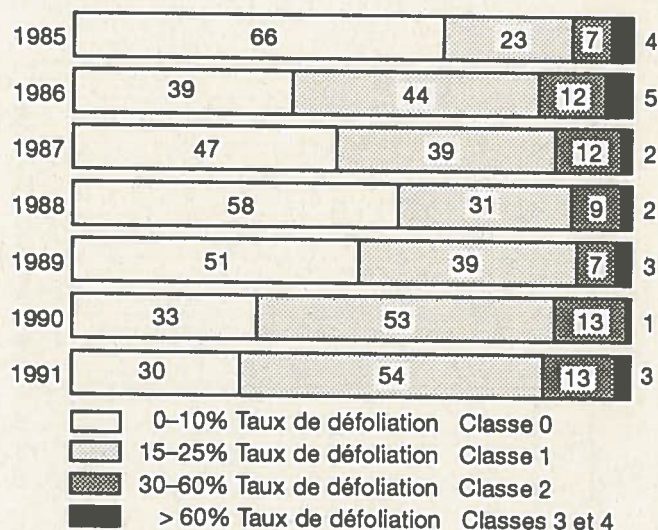
Pin



Sapin



Mélèze



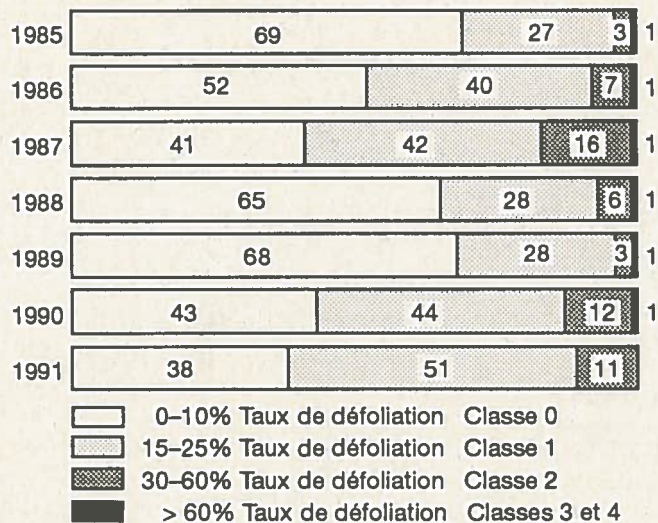
Comparaison des proportions pondérées des taux de défoliation de l'épicéa, du sapin, du pin et du mélèze de 1985 à 1991.

Le **hêtre** marque une légère amélioration; son taux tombe de 13 à 11 pour cent dans les classes 2 à 4. Si l'on y englobe la classe d'alerte, il passe alors à 62 pour cent, soit 5% de plus que l'année passée.

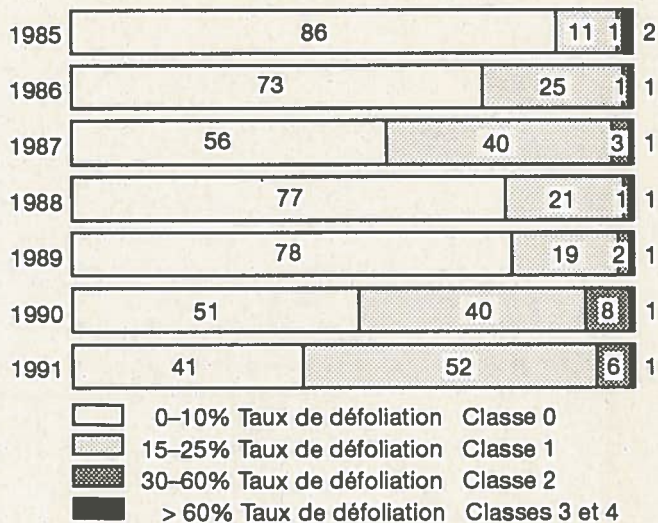
Quant au **chêne**, le feuillu aux cimes les plus démunies, il augmente encore sa défoliation.

L'**érable** et le **frêne** s'améliorent légèrement dans les classes 2 à 4 mais leurs taux remontent si l'on inclut la classe 1.

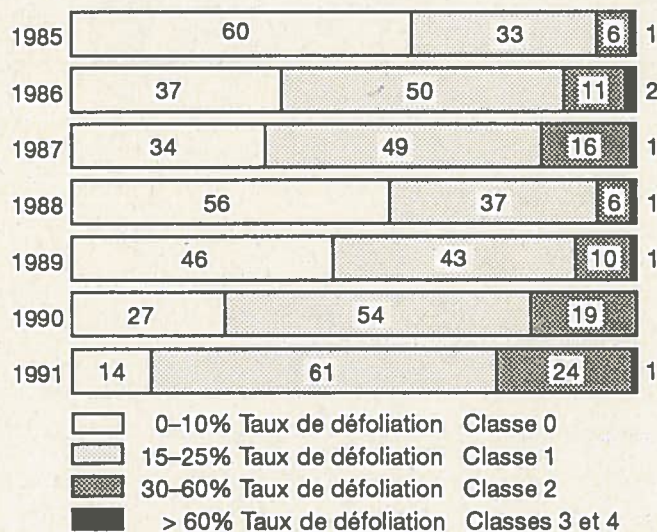
Hêtre



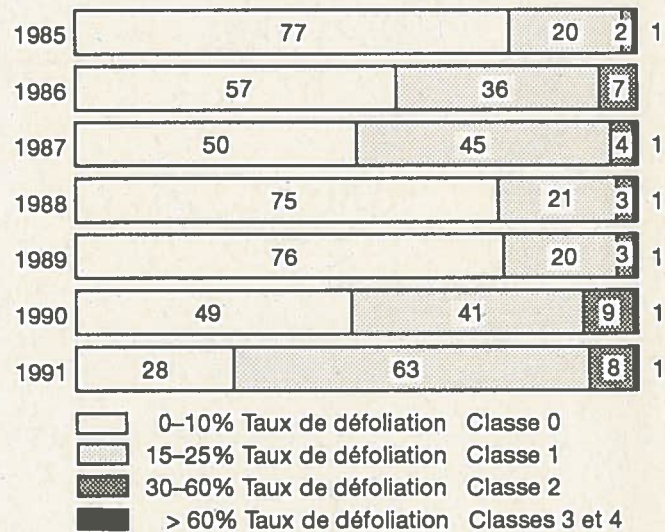
Erable



Chêne



Frêne



Comparaison des proportions pondérées des taux de défoliation du hêtre, du chêne, de l'érable et du frêne

Evolution nationale et régionale des dégâts

Les taux de défoliation, calculés pour l'ensemble de la Suisse, passent de 17 à 19 pour cent dans les classes 2 à 4 et de 61 à 68 pour cent si la classe d'alerte s'y ajoute. La tendance à la hausse se confirme tant pour les classes 2 à 4 que 1 à 4.

Dans le **Jura**, après l'augmentation massive de la transparence des houppiers en 1990, celle de cette année est insignifiante.

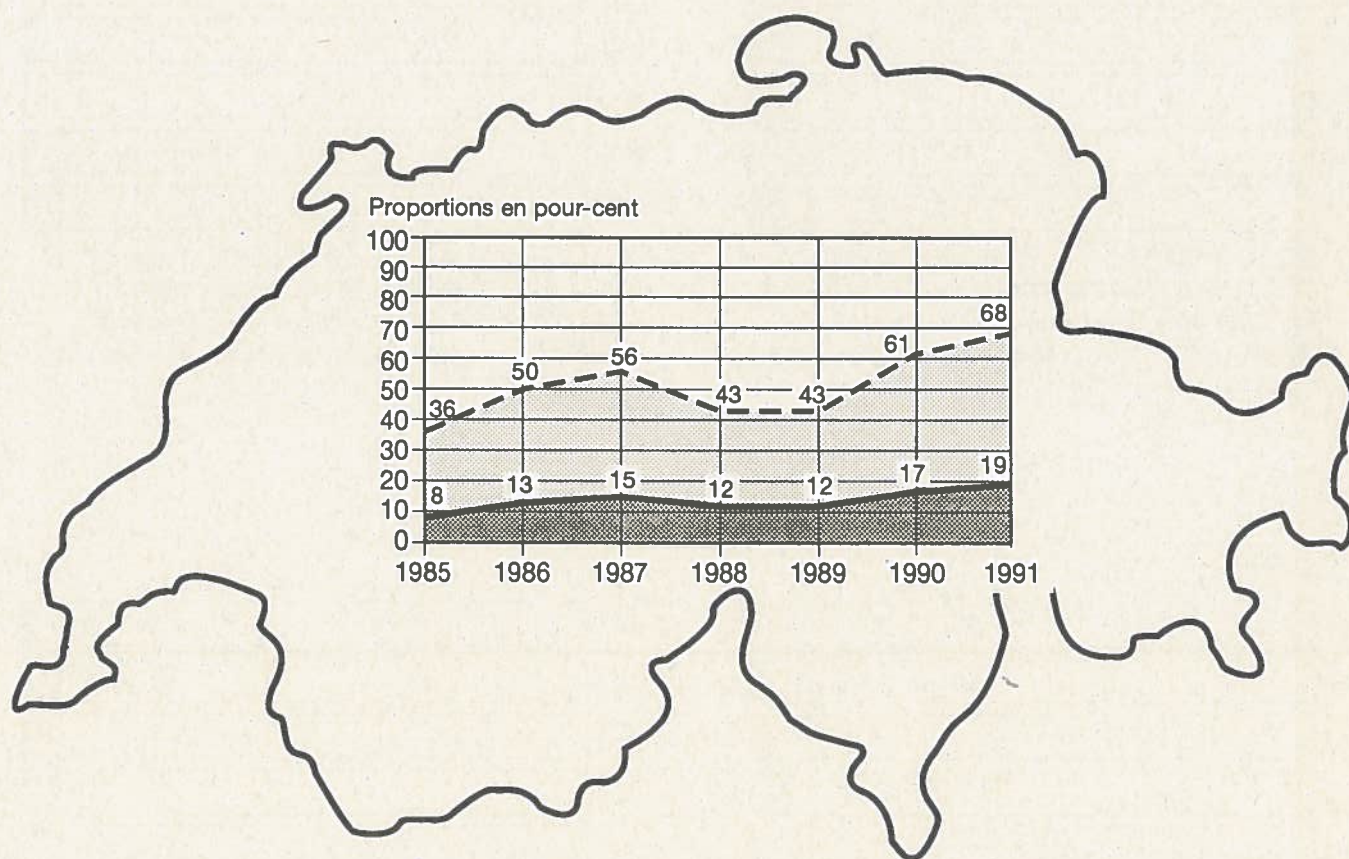
Sur le **Plateau**, les taux des classes 2 à 4 qui oscillaient entre 5 et 8 pour cent depuis 1985 augmen-

tent aujourd'hui de 8 pour cent et atteignent ainsi 14 pour cent. L'intégration de la classe d'alerte les hissent à 25 pour cent.

Dans les **Préalpes**, la proportion d'arbres appartenant aux classes 2 à 4 reste pratiquement la même. Si l'on tient compte de la classe 1, on note cependant une augmentation.

Dans les **Alpes**, les défoliations ont légèrement diminué après la forte aggravation de l'année passée.

Au **Sud des Alpes**, la nouvelle progression des classes 2 à 4 place cette région en tête de liste. Il est remarquable de constater la forte élévation des taux pour les classes 1 à 4 ces deux dernières années.



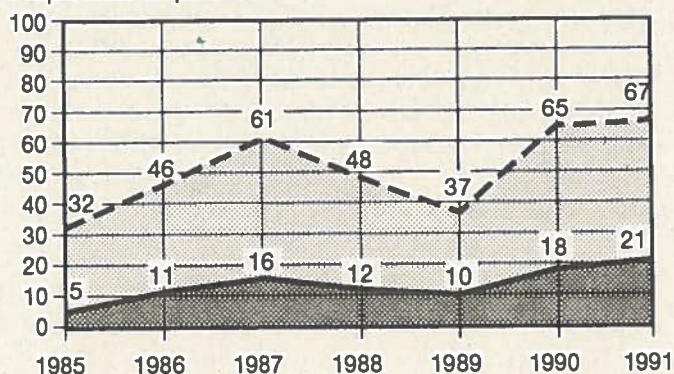
--- Arbres avec un taux de défoliation de 15 à 100% (classes 1-4)
 — Arbres avec un taux de défoliation de 30 à 100% (classes 2-4)

Proportions pondérées des arbres endommagés de 1985 à 1991

Jura



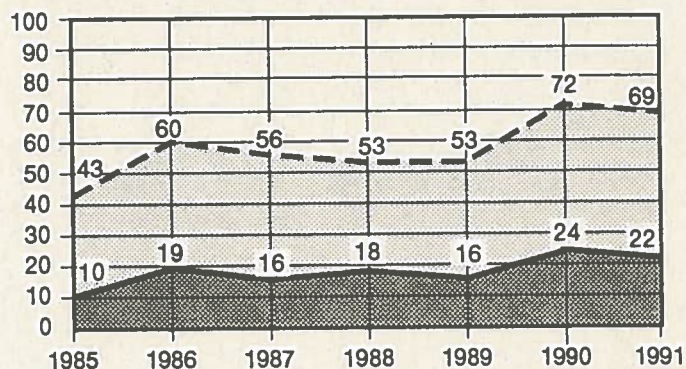
Proportions en pour-cent



Alpes



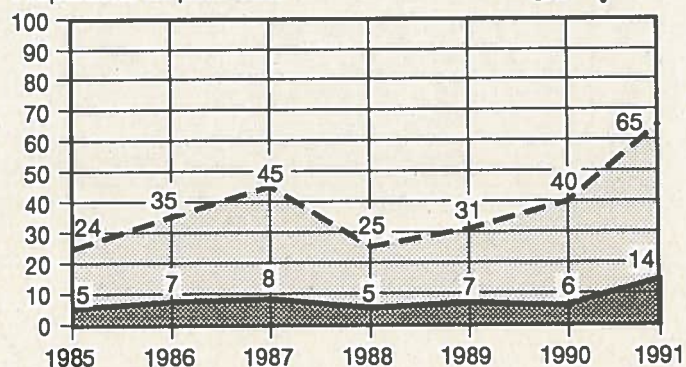
Proportions en pour-cent



Plateau



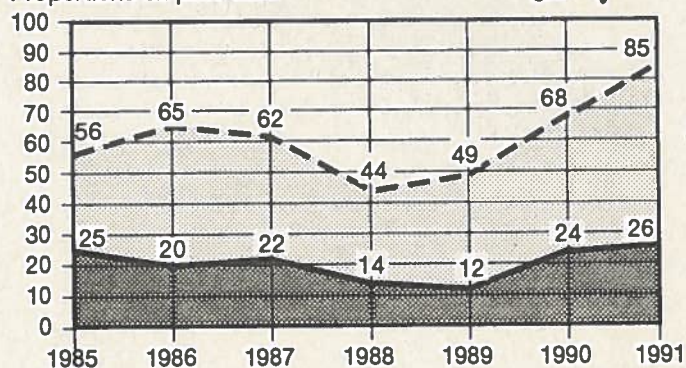
Proportions en pour-cent



Sud des Alpes



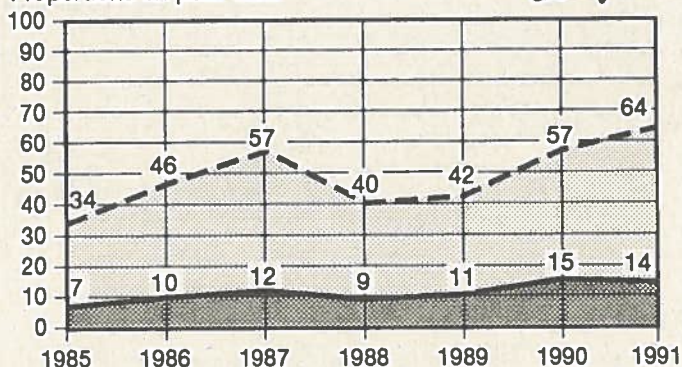
Proportions en pour-cent



Préalpes



Proportions en pour-cent



- Arbres avec un taux de défoliation de 15 à 100% (classes 1-4)
- Arbres avec un taux de défoliation de 30 à 100% (classes 2-4)

Proportions pondérées des arbres endommagés de 1985 à 1991 dans les régions Jura, Plateau, Préalpes, Alpes et Sud des Alpes.

A côté de cette subdivision régionale, on a défini sur la base d'un critère simple une zone de plaine et une zone de montagne. Cette dernière regroupe les placettes situées à plus de 900 m d'altitude ou sur des pentes de plus de 40 pour cent. Elle englobe l'ouest du Jura, une partie des Préalpes, les Alpes et le Sud des Alpes, excepté le fond des grandes vallées.

Dans la **zone de plaine**, l'évolution est semblable à celle du Plateau où l'on constate une augmentation des défoliations.

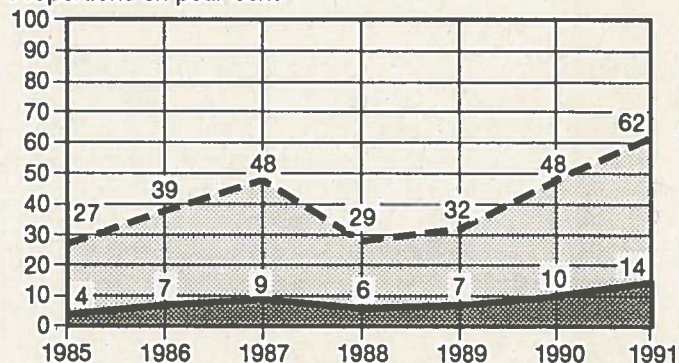
Dans la **zone de montagne**, les dégâts aux houppiers ont légèrement augmenté. La proportion des arbres placés dans les classes 2 à 4 est maintenant de 22 pour cent et celle des classes 1 à 4 de 71 pour cent.

L'évolution de l'état des houppiers en 1991 varie d'une région à l'autre. Les plus fortes augmentations de défoliation s'inscrivent au Sud des Alpes et sur le Plateau. Dans les Alpes, le niveau élevé reste stationnaire alors que dans le Jura et les Préalpes, l'augmentation est modérée.

Zone de plaine



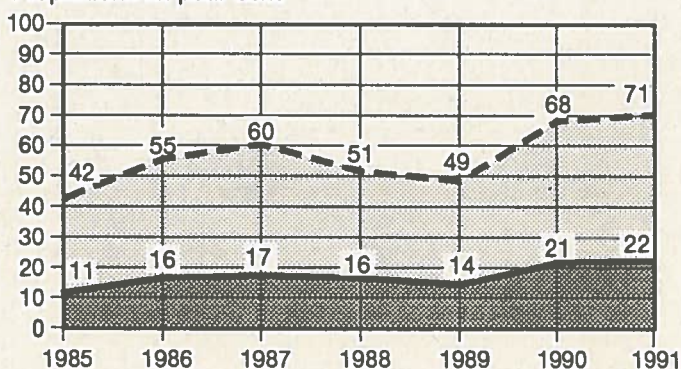
Proportions en pour-cent



Zone de montagne



Proportions en pour-cent



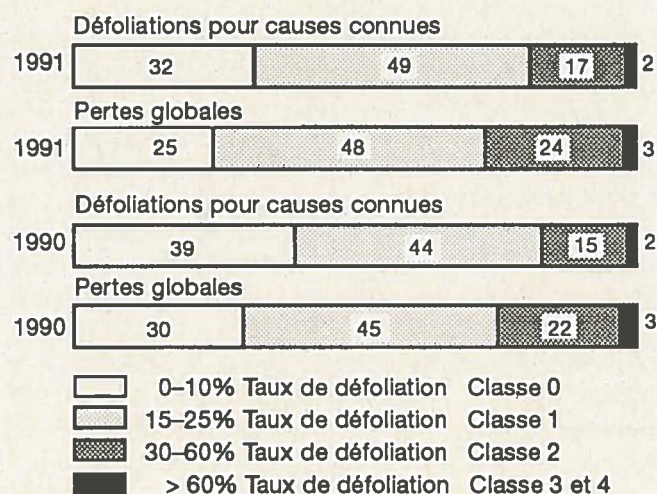
- Arbres avec un taux de défoliation de 15 à 100% (classes 1-4)
- Arbres avec un taux de défoliation de 30 à 100% (classes 2-4)

Proportions pondérées des arbres endommagés de 1985 à 1991 dans les zones de plaine et de montagne.

Défoliations imputables à des causes connues

L'analyse des arbres-échantillons consiste à estimer la perte globale des feuilles ou des aiguilles (= pertes globales). Si la défoliation est imputable à une cause connue, on en déduit sa proportion du chiffre des pertes globales. La valeur qui en résulte correspond au taux de défoliation présenté jusqu'ici dans les résultats. En 1991, 37 pour cent des arbres souffrent de défoliations imputables à des causes connues. La plupart d'entre eux sont des arbres dominés aux cimes rabougries. S'ils représentent 15,1% du total des arbres, ils ne modifient que peu le résultat final car il s'agit toujours de sujets minces. Le climat (vent, gel, neige) est le deuxième facteur de la liste. Il touche 11,6 pour cent du total des arbres. Une fois fanées, les fleurs du pin, du frêne et de l'érable laissent des vides sur les branches où les feuilles font défaut. Ce phénomène, appelé effet de floraison, est la troisième cause connue de perte foliaire. Elle se manifeste sur 3,3 des arbres. Les autres dégâts sont dus aux insectes (3,1 pour cent), aux lichens (1,6 pour cent), aux champignons (1,3 pour cent) au gui (0,4 pour cent), au bûcheronnage (0,3 pour cent) et à diverses autres raisons évidentes (0,1 pour cent).

Comparaison entre les taux de défoliation et les pertes globales



Si l'on compare les «pertes globales» avec les «taux de défoliation» de 1991, il est frappant de constater que la proportion d'arbres intacts a baissé de 7 pour cent. Alors que le taux des arbres légèrement dégarnis reste pratiquement le même, celui des arbres moyennement atteints augmente de 7 pour cent.

La situation était similaire en 1990. A cette période déjà, c'étaient les arbres moyennement atteints qui subissaient des dégâts supplémentaires imputables à une cause connue.

Dégâts dus aux tempêtes et à la pourriture

Les violentes tempêtes de février 1990 ont causé de graves dégâts aux forêts suisses. Le dernier inventaire les avait déjà recensés et ce thème fut traité dans le rapport des dégâts aux forêts 1990. Une analyse complémentaire a été effectuée cette année afin de découvrir d'éventuelles relations entre la pourriture du tronc et l'état du houppier des arbres situés sur les terrains endommagés par les tempêtes.

On a recherché les traces de pourriture sur les souches des arbres renversés par les tempêtes. L'analyse ne porte que sur les épicéas, l'essence la plus touchée puisqu'elle compte 101 arbres renversés (= 86% des arbres victimes des tempêtes). L'examen n'a pas toujours pu se réaliser car parfois la souche était introuvable ou il n'était plus possible de l'identifier. Notons encore que sur deux placettes rendues inaccessibles par les tempêtes en 1990, les arbres renversés n'ont pu être inventoriés que cette année. L'inventaire nous donne le résultat suivant:

nombre de placettes cyclonées	41
nombre d'arbres renversés	118 = 100%
part d'épicéas	101 = 86%

Les 101 souches d'épicéas analysées par l'IDF 91 se répartissent comme suit:

en bon état	60 = 59%
pourries	8 = 8%
non analysables	33 = 33%

L'Inventaire des dégâts aux forêts 1991 compte 8 souches pourries parmi les 101 recensées. Le nombre de données acquises est trop faible pour conclure qu'il existe une relation entre la pourriture des racines et les dégâts des tempêtes de 1990.

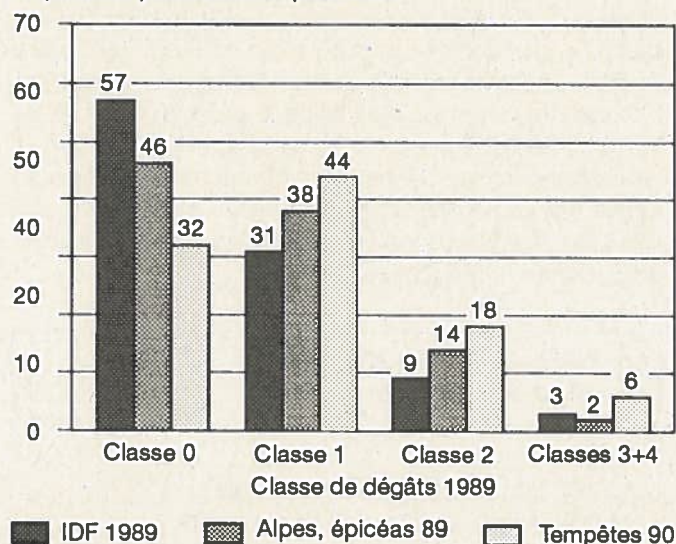
Dégâts dus aux tempêtes et défoliations

Grâce à l'inventaire de l'année passée, on a pu établir les taux de défoliation des arbres renversés par les tempêtes en 1990 et comparer leur répartition par classes de dégâts avec celle de l'inventaire 1989.

Tempêtes 1990

Classe de dégâts de l'IDF 1989 et arbres victimes des tempêtes

Proportions pondérées en pour-cent



IDF 1989 = 8303 d'arbres

Alpes, épicéas 89 = 1390 d'arbres

Tempêtes 90 = 118 d'arbres

Il ressort de cette analyse que toutes les classes de dégâts possèdent des arbres touchés par les tempêtes. En comparaison de l'inventaire 1989, ils sont plus nombreux dans les classes de dégâts 1 à 4 que parmi les arbres sains (classe 0). Mais il importe de ne pas oublier que la répartition des surfaces cyclonnées n'est pas uniforme dans toute la Suisse. De plus, la gravité des dommages n'est pas la même pour toutes les essences. Les tempêtes ont surtout atteint les épicéas des Alpes et des Préalpes. Dès lors les placettes dévastées par les tempêtes ne sont pas représentatives pour l'aire forestière suisse et une comparaison de leurs classes de dégâts avec le résultat global de l'inventaire 1989 ne peut se faire que sous certaines réserves. C'est pourquoi, on a comparé la répartition des arbres renversés avec celle de tous les épicéas inventoriés dans les Alpes. Ce rapprochement nous montre que les arbres renversés par le vent étaient plus fortement dégarnis que les épicéas de la région des Alpes.

Le nombre d'arbres-échantillons n'est pas suffisant pour permettre d'approfondir l'analyse afin de déceler la présence de dangers dus à certains facteurs locaux ou structurels.

Influence des exploitations sur le résultat de l'inventaire

Depuis l'inventaire des dégâts aux forêts 1990, 135 arbres recensés ont été exploités. On a comparé la répartition par classes de dégâts des arbres exploités en 1990 avec celle de 1991; on voit que la plupart d'entre eux appartiennent à la classe 0. Le 13% des arbres abattus dans les classes 3 et 4 étaient déjà secs en 1990. Dès lors, l'exploitation n'influence que très peu le résultat de l'inventaire 1991 puisqu'elle ne touche que 1,6 pour cent du total des arbres observés.

Comparaison des arbres exploités en 1990/91 avec le résultat de l'inventaire 1991

	Pourcentages pondérés				Nombre d'arbres observés
	0	1	2	3+4	
Exploités en 90/91	51	28	8	13	135
Inventaire 1991	32	49	17	2	8244

Buts de l'inventaire des dégâts aux forêts

L'inventaire Sanasilva des dégâts aux forêts (IDF) est destiné à surveiller à grande échelle la santé des forêts et ses modifications. Il consiste à apprécier l'état des cimes d'un échantillon représentatif d'arbres. Partant de l'hypothèse que l'état du houppier reflète la santé de l'arbre, on évalue son taux de défoliation. Afin d'assurer la reproductibilité de cette appréciation, les responsables de ce travail suivent une formation intensive et leurs estimations sont soumises à de minutieux contrôles. L'IDF est intégré à l'inventaire forestier national (IFN) et il fournit des résultats pour l'ensemble du pays ainsi que pour les régions Jura, Plateau, Préalpes, Alpes et Sud des Alpes. Ses résultats globaux sont ventilés par essences et par classes de taux de défoliation.

Cet inventaire ne peut guère donner d'informations significatives pour des régions peu étendues telles que les cantons notamment.

Il ne renseigne pas non plus sur la situation à l'échelon local car les mailles de son réseau d'échantillonnage sont trop larges. Conformément à ses objectifs, il n'est pas en mesure d'expliquer la cause des dégâts observés.

Avenir de l'Inventaire des dégâts aux forêts

L'expérience de ces sept inventaires montre qu'il est nécessaire d'élargir les connaissances sur les variations naturelles de la transparence du houppier, sur la limite des dégâts tolérables et sur l'interprétation des résultats du recensement. C'est pourquoi, il importe aujourd'hui de poursuivre ce travail de longue haleine qui engage le futur. Face à l'espérance de vie d'un arbre, six ans d'observation représentent une trop brève période pour en tirer des conclusions définitives.

Seule une intensification de l'Inventaire des dégâts aux forêts permettra de satisfaire les besoins accrus d'information et d'émettre des hypothèses sur l'existence de diverses relations de causes à effets. Il faut pour cela relever plusieurs paramètres écologiques importants. L'état du sol et ses modifications à moyen terme doivent être analysés. L'inventaire de la végétation et de ses modifications fourniront à long terme de précieux renseignements sur l'évolution du milieu. Les influences météorologiques sur la transparence du houppier sont étudiées en observant certains facteurs tels que les précipitations ou le rayonnement solaire. Les mesures systématiques des dépositions et de la qualité de l'air doivent étoffer l'actuel réseau d'observation. Ces prochaines années, on cherchera à atteindre ces objectifs afin de déterminer les variations spatio-temporelles de ces facteurs écologiques de l'écosystème forestier. Les recherches se feront à une grande échelle, en procédant à des observations coordonnées et représentatives.

Pour un choix de quelques placettes, on a déterminé les valeurs mensuelles du rayonnement solaire et des précipitations en interpolant les mesures des stations climatiques voisines tout en tenant compte du relief et de la couverture nuageuse. Les premières analyses montrent combien il est difficile d'établir, au niveau de la placette, des relations statistiquement sûres entre ces données météorologiques et le taux de défoliation. Néanmoins, ces études statistiques complexes se poursuivent car elles promettent des conclusions importantes sur le sujet.

En préparation à l'Inventaire du sol dans le cadre de l'Inventaire forestier national, on a réalisé un projet-pilote en 1990. Les méthodes de travail sont assez développées pour envisager la réalisation du premier inventaire dans un proche avenir. Ce relevé vise à faire le bilan des substances nutritives, du cycle de l'eau et des charges polluantes contenues dans le sol. Il est prévu de coordonner l'inventaire avec des relevés effectués dans l'ensemble de l'Europe.

La composition de la végétation forestière caractérise parfaitement une station. Un relevé de ces données au niveau des placettes exige la mise au point d'une méthode très élaborée. Le premier inventaire ne sera réalisable qu'à moyenne échéance.

Méthodes

Dispositif d'échantillonnage

L'Inventaire des dégâts aux forêts est un inventaire par échantillonnage organisé et exécuté chaque année par la Section Inventaire forestier national de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP). Il se fait sur des placettes équidistantes de 4 km, empruntées au réseau à trame de 1x1 km de l'Inventaire forestier national; il en utilise donc une placette sur 16. La placette comporte deux cercles concentriques, l'un de 500 et l'autre de 200 m². Sur le plus petit, on relève les arbres à partir de 12 cm de diamètre à 1,3 m du sol (hauteur de poitrine) et sur le plus grand, ceux à partir de 35 cm de diamètre. Les données saisies permettent d'obtenir des résultats représentatifs pour les forêts de l'ensemble de la Suisse et de sous-ensembles tels que les régions ou certaines essences communes.

Nombre des données

Nombre total de placettes	766
Placettes accessibles et inventoriées	686

Nombre d'arbres inventoriés	
dès 12 cm de diamètre	8244
part de résineux	5265
part de feuillus	2979

Nombre d'arbres par essence	
Epicéa	3447
Sapin	922
Pin	371
Mélèze	381
Autres résineux	144
Hêtre	1520
Erable	282
Frêne	253
Chêne	126
Autres feuillus	798

Pondération des données individuelles

Pour calculer les divers pourcentages tirés de l'ensemble des valeurs, on pondère les données individuelles par le carré du diamètre de l'arbre concerné, si bien que les gros arbres pèsent plus dans la balance. Cette pondération se justifie par le fait que ces derniers occupent plus de place et ont plus d'importance pour le peuplement et la stabilité de la forêt.

Exécution de l'inventaire

Avant l'inventaire, les six équipes chargées des relevés et les deux équipes de contrôle suivent une formation spéciale. Pendant l'inventaire, elles participent encore à une journée d'entraînement par quinzaine. On vérifie leur manière de juger l'état de l'arbre en les suivant sur des placettes d'entraînement et des parcours tests. Grâce à cette formation intensive, l'estimation des diverses équipes d'observateurs est pratiquement homogène. La période de formation et d'entraînement occupe un quart du temps consacré aux relevés en forêt.

Les 686 placettes accessibles, comptant plus de 8000 arbres, furent inventoriées par 6 équipes de deux personnes occupées du 1er juillet au 30 août 1991. Dans le but de vérifier les opérations sur le terrain, deux équipes de contrôle ont choisi systématiquement 99 placettes totalisant 1141 arbres du réseau d'échantillonnage. Elles y ont répété deux fois l'inventaire en travaillant indépendamment l'une de l'autre et sans tenir compte du premier relevé.

Chaque arbre de la placette est identifié séparément afin de suivre son développement au cours de plusieurs années. Les spécialistes formés à cet effet estiment le taux de défoliation de l'arbre par catégories de 5 pour cent à l'aide des photos de l'album de couronnes d'arbres qui leur servent de base de comparaison. Ils inspectent chaque arbre avec des jumelles, dans une direction prescrite, toujours la même.

En plus du taux de défoliation, ils notent diverses données supplémentaires sur la structure du peuplement et les conditions écologiques de la placette. Les observations concernant les autres dégâts, d'origine connue, causés par l'exploitation des bois, les insectes, les champignons, le vent, les chutes de pierres, et autres, servent à faciliter le diagnostic différentiel lors de la comparaison de l'évolution de l'état de santé.

Estimation du taux de défoliation

L'estimation du taux de défoliation est le critère principal employé dans tous les inventaires européens des dégâts aux forêts visant à analyser l'état sanitaire de l'arbre. On procède à cette opération en se référant à un album de photos en couleurs, en usage depuis 1986 (E. Müller, H.R. Stierlin: Sanasilva – Couronnes d'arbres, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, FNP, Birmensdorf). Il donne des valeurs standard qui aident les spécialistes à estimer les cimes par comparaison.

On évalue d'abord la défoliation totale des arbres (pertes globales). Si on remarque des dégâts d'origine connue, on en estime alors la valeur que l'on déduit du total initialement obtenu. Ce rapport ne contient que les taux de défoliation imputables à des causes **inconnues**.

Définition des classes de dégâts

Les équipes d'inventaire estiment le taux de défoliation par catégories de 5 pour cent rassemblées en cinq classes de dégâts. Ces dernières sont reconnues à l'échelon international dans les directives de la CEE-ONU et garantissent la comparabilité des divers inventaires européens des dégâts.

Désignation des classes de dégâts formées en groupant les catégories de 5 pour cent des taux individuels de défoliation

Taux de défoliation en pour-cent	Désignation utilisée de 89 à 91	Classe
0, 5, 10	Sans dégât	0
15, 20, 25	Classe d'alerte (légèrement atteint)	1
30-60	Moyennement atteint	2
65-95	Gravement atteint	3
100	Sec	4

Fixation de la limite entre les arbres sains et atteints

En vertu des conventions internationales, les taux de défoliation de 15, 20 et 25 pour cent sont groupés depuis 1989 dans la «classe d'alerte». Pour exprimer l'ampleur des dégâts à l'échelon national et régional, on indique la proportion des arbres ayant un taux de défoliation supérieur à 25 pour cent (classes de dégâts 2 à 4). On assure ainsi la comparabilité des données à l'échelon international. La présentation simultanée des classes 1 à 4 et 2 à 4 permet de comparer les résultats actuels avec ceux des inventaires précédents.

On ignore toujours où se situe réellement la limite entre les arbres sains et atteints; elle dépend de la station et de l'essence. L'analyse de l'évolution individuelle des arbres montre que des taux de défoliation de 25 pour cent et moins se situent dans la marge des variations naturelles.

Fiabilité des résultats

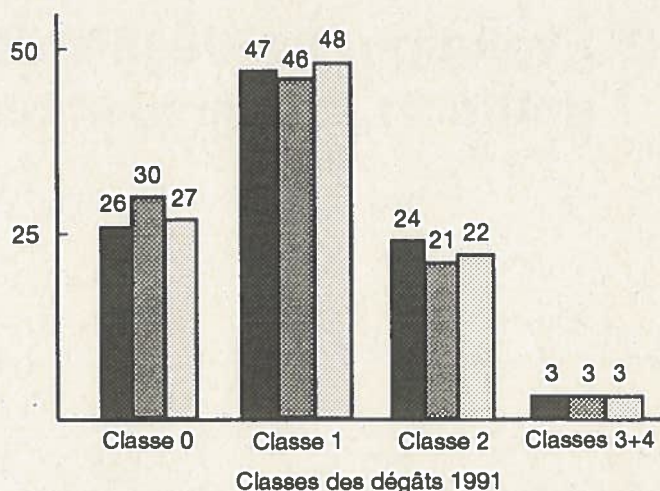
L'inventaire des dégâts aux forêts se fonde sur l'appréciation de l'état du houppier d'arbres situés sur des placettes disposées dans un réseau à mailles carré de 4 km de côté. Parmi ces 686 placettes, un réseau partiel

de 99 parcelles est encore visité par deux autres équipes. Dès lors les arbres soumis à ce contrôle sont estimés par trois équipes indépendantes, ce qui permet de quantifier les influences subjectives de chaque groupe. Cette vérification s'est faite sur 1141 arbres.

Grâce à la formation intensive et aux entraînements périodiques des équipes, une grande part de subjectivité a pu être éliminée.

La comparaison des résultats entre les deux inventaires de contrôle systématiques et le premier recensement représente une bonne base pour assurer la reproductibilité de cette estimation.

La différence moyenne entre les résultats du premier inventaire et ceux des inventaires de contrôle donne une mesure supplémentaire à la reproductibilité de la taxation des houppiers. Elle est de 0,1 pour cent à la première vérification (écart standard 10,0 pour cent) et de 2,2 pour cent à la deuxième (écart standard 10,2 pour cent). Cela signifie que les équipes de contrôle ont un jugement légèrement plus sévère.



■ Contrôle 2 ▨ Premier relevé □ Contrôle 1

D'après ces résultats, il y a tout lieu d'admettre que les conclusions de l'Inventaire des dégâts aux forêts sont fiables.

Méthodes et comparabilité des inventaires des dégâts aux forêts de 1983 à 1991

Année	Méthode d'inventaire	Nombre de données	Résultats des inventaires	
			Taux de défoliation plus de 10%	Taux de défoliation plus de 25%
1983	Enquête auprès des gardes forestiers pas comparable avec les inventaires des dégâts (IDF) de 1984 à 1990	1429 questionnaires	14% des arbres malades, malades, dépérissants ou secs	
1984	Inventaire par grappes dans les forêts publiques desservies (= 48% de l'aire forestière suisse) pas comparable avec les IDF 1985-1990	371 grappes 26 927 arbres	34%	8%
1985	Répétition de l'inventaire par grappes de 1984 dans les forêts publiques desservies, pas comparable avec les IDF 1985-1990	361 grappes 25 467 arbres	34%	5%
1985	Placettes d'échantillonnage de l'IFN: premier inventaire dans toutes les forêts de Suisse	766 placettes 8065 arbres	36%	8%
1986	Placettes d'échantillonnage de l'IFN: deuxième inventaire dans toutes les forêts de Suisse; premier constat de l'évolution pour l'ensemble des forêts	766 placettes 8059 arbres	50%	13%
1987	Placettes d'échantillonnage de l'IFN: troisième inventaire dans toutes les forêts de Suisse	766 placettes 8068 arbres	56 %	15%
1988	Placettes d'échantillonnage de l'IFN: quatrième inventaire dans toutes les forêts de Suisse	766 placettes 8175 arbres	43%	12%
1989	Placettes d'échantillonnage de l'IFN: cinquième inventaire dans toutes les forêts de Suisse	766 placettes 8304 arbres	43%	12%
1990	Placettes d'échantillonnage de l'IFN: sixième inventaire dans toutes les forêts de Suisse	766 placettes 8333 arbres	61%	17%
1991	Placettes d'échantillonnage de l'IFN: septième inventaire dans toutes les forêts de Suisse	766 placettes 8244 arbres	68%	19%

2 Evolution des dégâts dans les régions tests d'Altdorf, de Flims et de Zofingue

La comparaison entre les vues aériennes infrarouges de 1991 et de 1990 montre que les arbres des placettes de Flims et de Zofingue ont subi cette année une détérioration semblable à celle de la période précédente. Toutefois, quelques améliorations s'inscrivent à Zofingue. Sur l'aire-test d'Altdorf où les valeurs étaient jusqu'à présent irrégulières, la situation s'est nettement améliorée cette année. Dans l'ensemble, 91,7 pour cent des 1500 arbres examinés ne présentent aucune modification visible.

Méthode d'analyse

Depuis son début en 1984/85, cette étude des changements de la vitalité de l'arbre s'est faite selon la même méthode fondée sur la comparaison des vues infrarouges en couleurs (échelle 1:3000). Le type de film employé met en évidence les différences de réflectivité de la chlorophylle dans l'infrarouge proche. Chaque arbre est identifié avec précision par photogrammétrie à l'aide de vues stéréoscopiques.

Une amélioration ou une détérioration s'illustre d'une année à l'autre par les arbres marquant une modification dans leur forme, leur structure, leur texture ou dans l'intensité de leur couleur.

Description du peuplement des trois régions tests

Altdorf: 70 pour cent de résineux (épicéas, sapins blancs; pins par pieds isolés) et 30 pour cent de feuillus (hêtres accompagnés de quelques frênes et érables); classes d'âges: du perchis aux gros bois clairsemés.

Flims: 90 pour cent de résineux (épicéas, accompagnés de quelques pins, sapins blancs et mélèzes) et 10 pour cent de feuillus (hêtres); classes d'âges: futaie jeune à moyenne accompagnée de quelques gros bois.

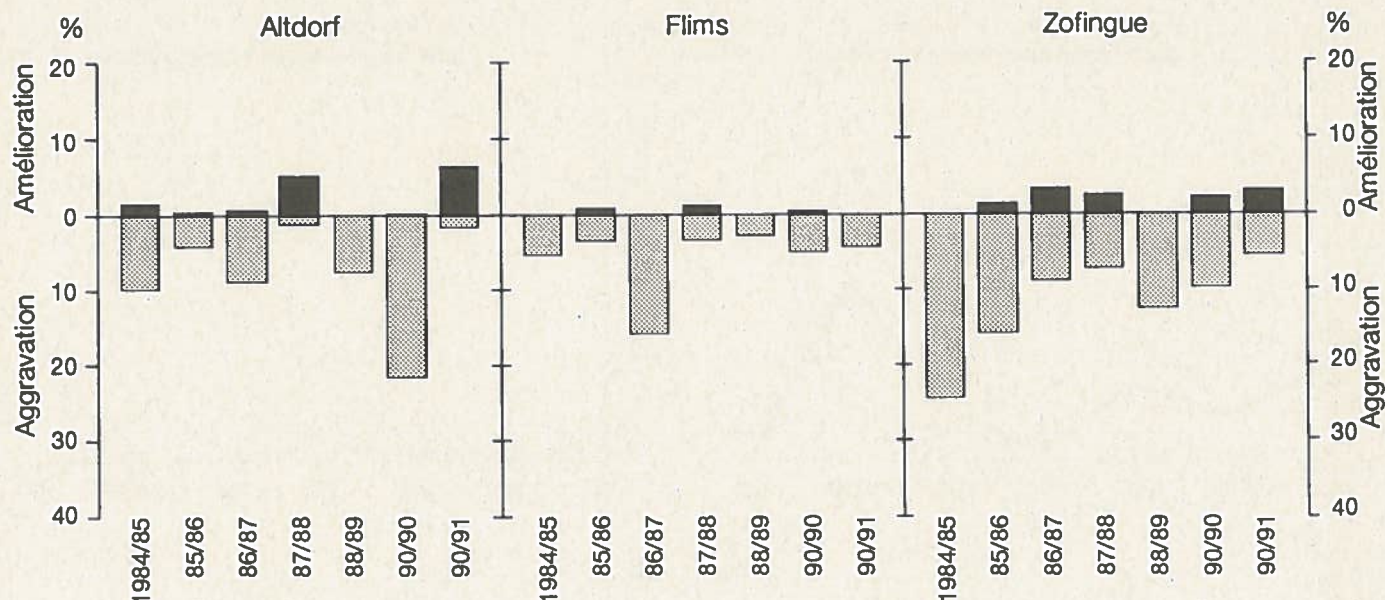
Zofingue: 80 pour cent de feuillus (hêtres; chênes et érables par pieds isolés) et 20 pour cent résineux (épicéas, sapins blancs, pins et Douglas); classes d'âge: futaie moyenne et gros bois.

Evolution de la vitalité dans les trois régions tests

A Altdorf, l'irrégularité de l'évolution de la forêt est frappante par rapport aux deux autres régions tests. Alors que l'année passée, l'état de plus d'un cinquième des arbres examinés s'était détérioré, 6,5 pour cent des 430 arbres d'Altdorf améliorent leur vitalité cette année et seul 1,2 pour cent se détériorent. Ce résultat favorable est presque identique à celui de la période 1987/88 qui inscrivait 5,1 pour cent d'amélioration contre 1,2 pour cent d'aggravation.

Comparaison des vues aériennes de 1991 et de 1990

Région	Nombre d'arbres étudiés			Nombre d'arbres abattus			Evolution en pour-cent											
							Amélioration			Sans changement			Aggravation			Exploitation		
	Rés	Feuil	Total	Rés	Feuil	Total	Rés	Feuil	Total	Rés	Feuil	Total	Rés	Feuil	Total	Rés	Feuil	Total
Altdorf	247	183	430	7	2	9	-	15	6	96	82	91	1	2	1	3	1	2
Flims	552	32	584	3	-	3	-	-	-	95	97	95	4	3	4	1	-	1
Zofingue	142	381	523	2	10	12	-	5	4	92	88	89	6	5	5	2	2	2



Evolution des dommages dans les régions tests d'Altdorf, de Flims et de Zofingue
Proportion des arbres dont l'état s'est amélioré ou aggravé de 1990 à 1991; résultat d'une comparaison des vues aériennes

Une coupe d'éclaircie a éliminé 2 pour cent des arbres de la partie inférieure de la placette. Quant aux exploitations de chablis, elles sont très faibles cette année.

A **Flims**, l'évolution défavorable de l'année passée se poursuit. 4,1 pour cent des 584 arbres-échantillons se sont détériorés alors que ce taux était à 5,0 pour cent en 1990. Cette année encore, on ne note aucune amélioration.

Aucune intervention sylvicole n'a eu lieu durant la période d'observation hormis quelques exploitations forcées.

Abstraction faite de l'aggravation flagrante observée en 1986/87 – les chablis de juillet 1987 n'y étaient pas pour rien – le pourcentage des arbres se détériorant chaque année reste constant avec des valeurs situées entre 2,8 et 5,3 pour cent. Le nombre d'arbres ayant amélioré leur vitalité durant toute cette période est insignifiant puisque le taux oscille entre 0 et 1,1 pour cent.

En face des résultats enregistrés depuis le début des analyses, **Zofingue** offre cette année une image plus rose. Si 5,4 pour cent des 523 arbres-échantillons marquent une tendance à la baisse, il en reste encore 3,4 pour cent qui s'améliorent.

Sur la partie de la placette que les forestiers estimaient prête à la coupe, les interventions sylvicoles ont été normales. 2,3 pour cent des arbres examinés furent abattus.

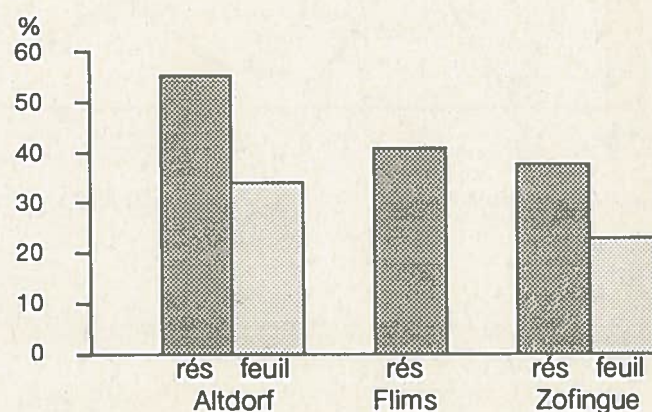
Depuis 1986, les valeurs de cette région test oscillent entre 5,4 et 15,8 pour cent pour les aggravations et entre 1,3 et 3,4 pour cent pour les améliorations.

Comparée à la durée moyenne de production, la période d'observation de 1984 à 1991 est relativement courte.

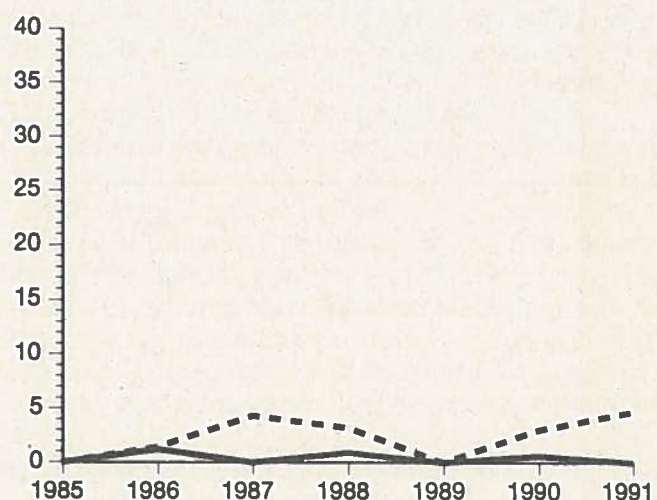
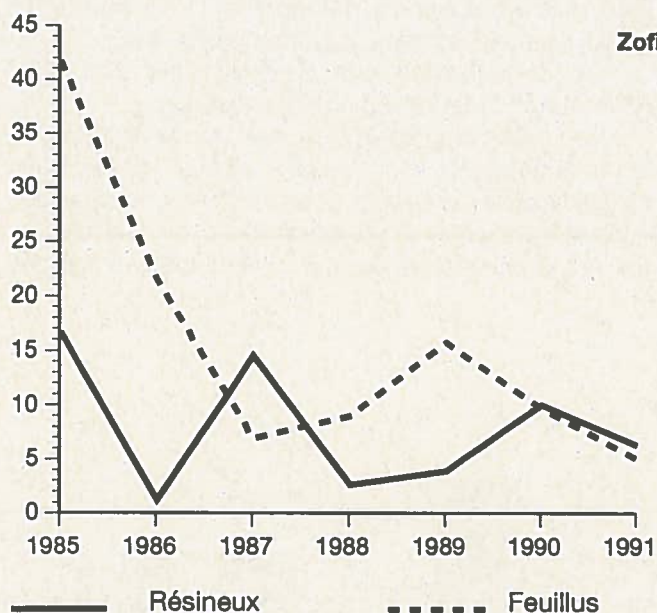
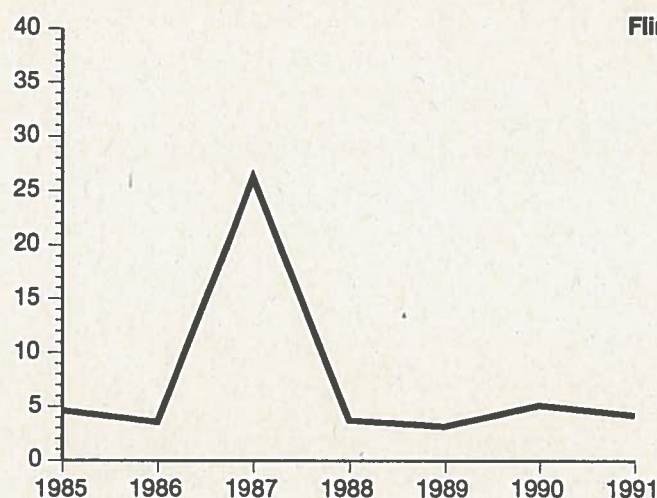
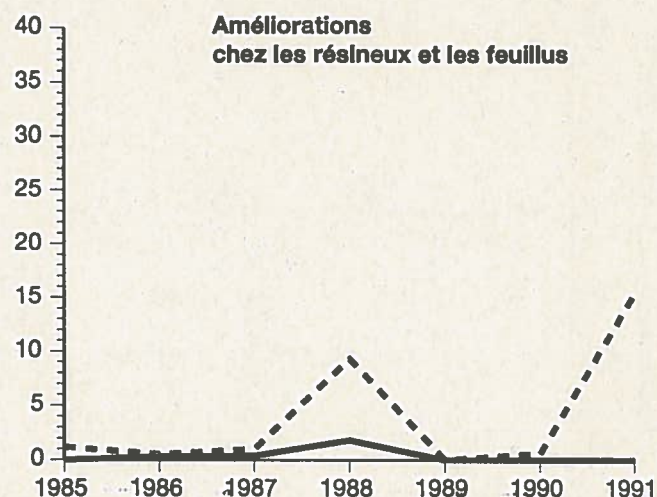
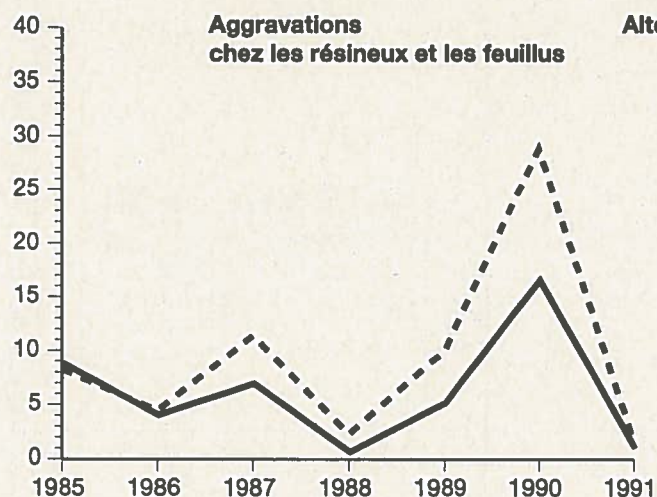
Durant ces années, le nombre d'arbres n'enregistrant ni amélioration ni détérioration visible est plus grand chez les résineux que chez les feuillus.

A **Flims**, la proportion de feuillus est trop faible pour fournir des renseignements valables.

D'après ces graphiques, l'état de santé varie plus fortement chez les feuillus que chez les résineux. Il est possible qu'en perdant toute sa verdure chaque année, le feuillu présente des modifications de vitalité plus rapides et plus évidentes que le résineux. Les courbes



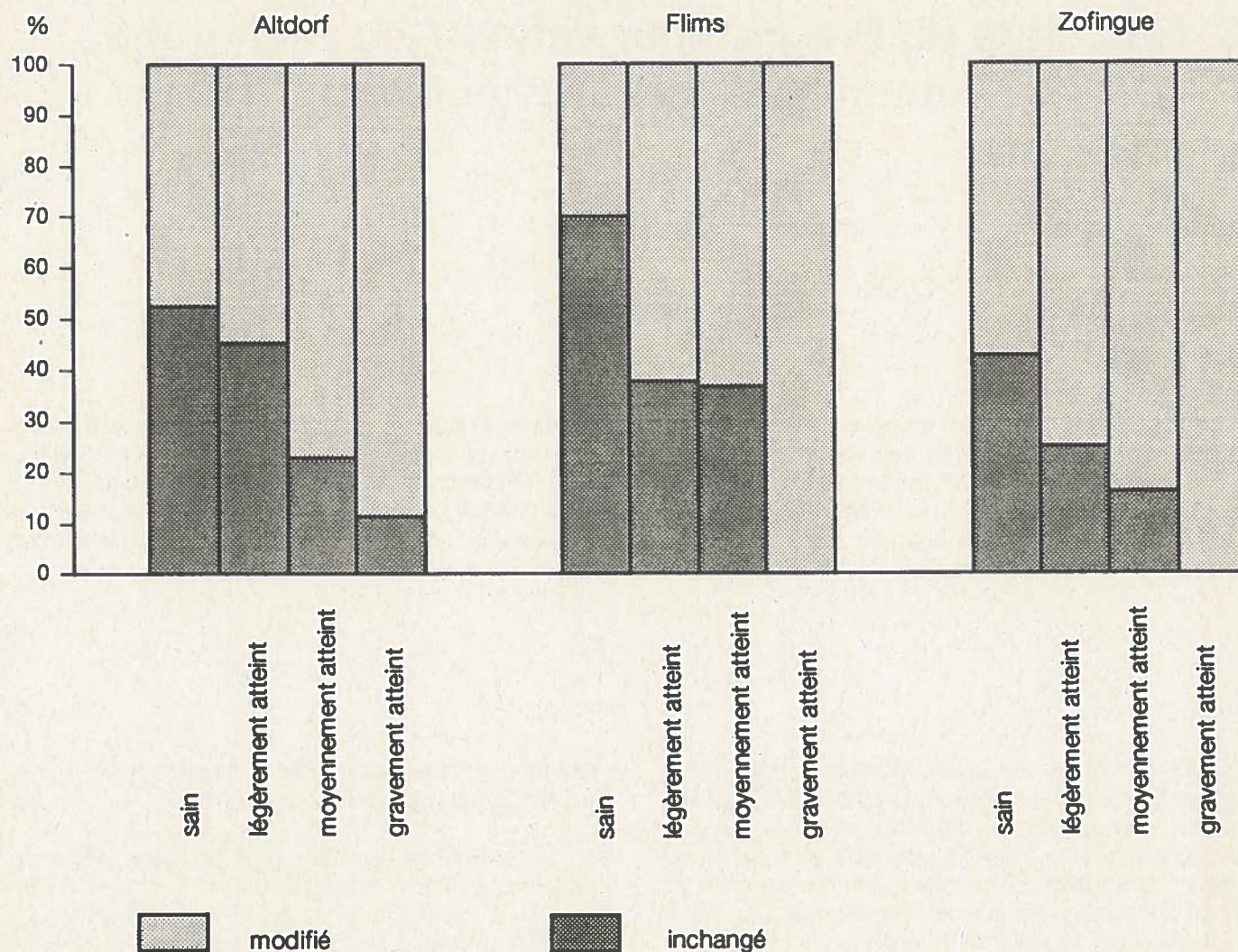
Arbres ayant gardé leur vitalité entre 1984 et 1991



indiquent le pourcentage annuel des modifications inscrites dans ces deux groupes.

La stabilité de la santé d'un arbre dépend de la gravité de son endommagement. Plus le sujet est atteint, plus son état est instable. A Altdorf par exemple,

53 pour cent des arbres sains sont restés dans cet état tout au long des inventaires, 45 pour cent ont occupé la colonne des cas légèrement atteints, 23 pour cent celle des moyennement atteints et 11 pour cent seulement comptaient parmi les sujets gravement atteints.



Le graphique ci-dessus indique le pourcentage des arbres ayant gardé leur vitalité depuis 1984 et celui des sujets qui se sont modifiés une ou plusieurs fois.

Il n'est pas encore clairement établi si la situation sociale d'un arbre est capable d'en influencer la santé et dans quelle mesure elle le ferait. Avant d'émettre des affirmations à ce sujet, il est nécessaire d'étoffer les données que nous possédons. Au départ de cette recherche, nous avons déterminé l'appartenance sociale de chaque arbre mais il nous manque encore des renseignements sur les stades de développement et sur l'environnement de l'arbre dans le peuplement, comme par exemple le degré de fermeture et la structure du peuplement, ainsi que d'autres facteurs qui doivent être pris en considération.

Une part non négligeable des arbres inventoriés à l'origine ont dû être exploités. On en compte 14 pour cent à Altdorf, 20 pour cent à Flims et 16 pour cent à Zofingue.

Le tableau montre l'état de l'arbre tel qu'il fut jugé la dernière fois avant de passer dans la catégorie des arbres exploités.

	Altdorf	Flims	Zofingue
Sain à légèrement atteint	66,6%	36,7%	55,2%
Moyennement atteint à sec	33,4%	63,3%	44,8%

Il est très possible que certains arbres aient subi un changement de vitalité avant l'exploitation (à cause des insectes par exemple); ce facteur n'est pas pris en considération dans ce tableau. Les chiffres correspondent aux résultats des enquêtes annuelles sur la nature des exploitations dans les placettes d'échantillonnage. Alors que Flims compte une grande majorité d'exploitation de chablis, Altdorf et Zofingue enregistrent aussi plusieurs interventions sylvicoles normales.

Des renseignements plus précis nécessiteraient un contact plus approfondi avec les services forestiers locaux, mais le personnel et les moyens pour le faire ne sont pas disponibles.

3 Résultats du Programme national de recherche «Dépérissement des forêts et pollution de l'air en Suisse»

En 1980, le Conseil fédéral chargeait le Fonds national suisse de réaliser un programme de recherche sur le thème «Cycle et pollution de l'air en Suisse» (PNR 14). Face à l'accroissement des dommages survenus dans les forêts entre 1982 et 1983, ce programme fut étoffé d'une étude complémentaire «Dépérissement des forêts et pollution de l'air en Suisse (PNR 14+)». Comme son nom l'indique, cette recherche met l'accent sur les relations existant entre la pollution atmosphérique et les dégâts aux forêts. Il s'agit en premier lieu d'étudier l'influence de la qualité de l'air sur l'état des houppiers d'épicéas.

Désireux d'obtenir une ample moisson de renseignements et d'assurer une comparabilité des données aussi bonne que possible, les responsables ont orienté presque toutes leurs analyses sur trois surfaces forestières, ce qui est une condition importante lorsqu'il s'agit de découvrir des interactions inconnues. Les sites d'observation, situés à diverses altitudes, se trouvent dans trois différentes régions forestières: Lägeren (685 m) pour le Plateau; Alptal (1185 m) pour les Préalpes; et Davos pour les Alpes (1600 m). Leur emplacement a été choisi dans des régions extérieures aux zones d'immissions directes issues d'une importante source de pollution atmosphérique d'un caractère particulier.

Quelles sont les modifications des houppiers dans les trois placettes d'observation?

Durant les trois années 1986-1988, l'état des houppiers observés à Lägeren, Alptal et Davos ne s'est que peu modifié. Sur la parcelle de Lägeren, le changement se traduit par une baisse du taux moyen de défoliation (classes 2 à 4: il est de 8 à 7% plus bas). S'il est un peu plus élevé sur les deux autres placettes (il passe de 46 à 55% à Alptal et de 36 à 33% à Davos), il n'en demeure pas moins dans une marge proche de la limite de variabilité naturelle. C'est précisément lorsqu'il est relativement bas qu'il est difficile d'interpréter cette valeur

Résumé et évaluation des résultats

Les résultats des tests effectués sur les arbres forestiers n'apportent aucune évidence sur les éventuels dangers des polluants atmosphériques. La vulnérabilité des plantes est très différente d'une espèce à l'autre. L'appréciation et l'évaluation des résultats sont incertaines. Il est improbable que la couche protectrice de cire des aiguilles d'épicéa subisse un endommagement direct. Il ne semble pas non plus qu'il faille craindre une influence immédiate des polluants atmosphériques sur la photosynthèse des épicéas. Les méthodes appliquées imposent de telles réserves qu'il n'est pas possible pour l'instant d'émettre un jugement définitif.

Les observations et analyses du PNR 14+ «Dépérissement des forêts et pollution de l'air en Suisse» ont

été poursuivies sur trois aires-tests bien déterminées. Il est dès lors difficile de généraliser leurs résultats pour chacune de nos grandes régions car ces recherches constituent des études de cas particuliers et non un échantillonnage représentatif. La durée d'observation de 1986 à 1988 représente 1 à 2% de la vie d'un épicéa. Vouloir en tirer des conclusions générales ne serait pas fondé, d'autant moins que ni l'état normal ni la marge de variation normale des objets étudiés ne sont définis. Pour des raisons pratiques, les essais effectués sur les arbres forestiers (le gazage entre autres) se font souvent sur de jeunes plantes. On ignore dans quelle mesure les résultats de ces expériences sont applicables aux vieux arbres.

qui n'est pas spécifique. Si l'on compare ces trois taux de défoliation avec les moyennes obtenues dans les grandes régions correspondantes, les valeurs de la placette de Lägeren sont semblables à celles du Plateau. A Alptal et Davos, les chiffres dépassent nettement les moyennes calculées dans les grandes régions équivalentes des Préalpes et des Alpes (voir fig. 1A-1C).

Des conditions atmosphériques extrêmes ont-elles influencé l'état des houppliers?

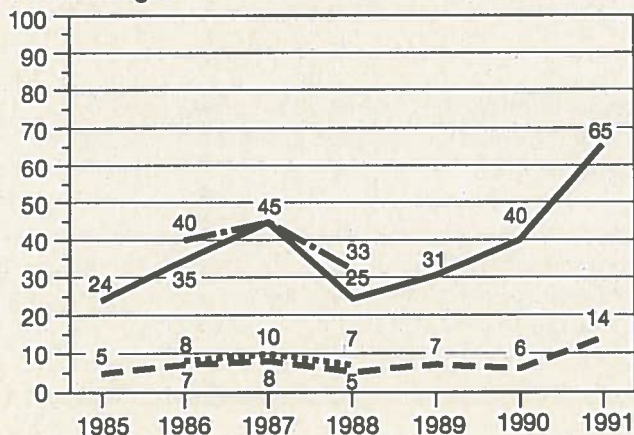
Seules des séries de mesures continues, pluriannuelles, effectuées dans des stations dotées d'un dispositif d'enregistrement des données très étoffé, permettent d'apprécier les quantités d'eau disponible dans le sol pour les arbres forestiers. Vu la grande variabilité de l'humidité du sol constatée sur les placettes du PNR 14 et sur les neuf placettes du Programme zurichois d'étude des dégâts aux forêts, il n'est pas possible d'établir une

Les questions formulées dans ce texte sont présentées de manière plus détaillée dans le document «Luft», édité par U. Roth; les auteurs en sont W. Jutzi, W. Graber, D. Hornung et M. Stark; les éditions «Fachvereine ETH Zürich» le publieront en février 1992.

corrélation entre l'humidité du sol et les précipitations ou entre la défoliation et le régime des eaux dans le sol. Les conditions atmosphériques favorables durant la période d'observation expliquent ce résultat. Pendant ce laps de temps, aucun arbre des aires testées n'a enregistré un approvisionnement en eau insuffisant; seule la fin de la période de végétation a marqué quelques rares séquences pendant lesquelles l'apport d'eau fut limité. Mais ni la brève période de végétation 1986 ni les fréquentes chutes de températures observées en moyenne altitude pendant l'hiver 1987 n'ont causé d'évidentes perturbations physiologiques.

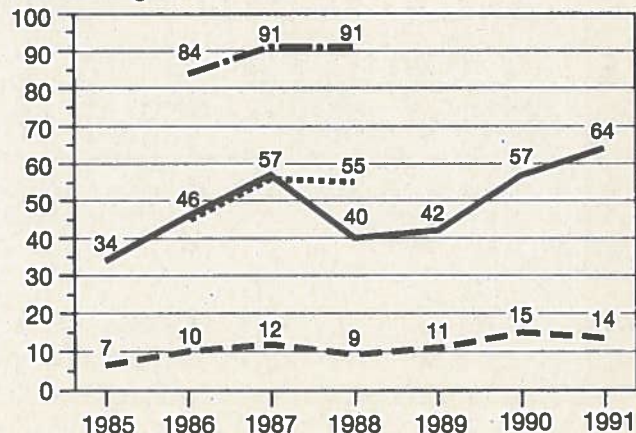
Lägeren-Plateau

Pourcentages



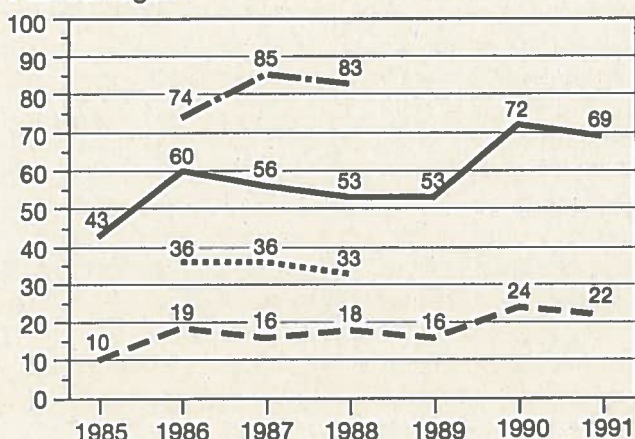
Alptal-Préalpes

Pourcentages



Davos-Alpes

Pourcentages



Légende:

- Taux de défoliation de 11 à 100% (Classes 1 à 4) pour chacune des grandes régions
- - - Taux de défoliation de 26 à 100% (Classes 2 à 4) pour chacune des grandes régions
- . - . Taux de défoliation de 11 à 100% (Classes 1 à 4) pour les placettes d'observation du PNR 14+
- Taux de défoliation de 26 à 100% (Classes 2 à 4) pour les placettes d'observation du PNR 14+

Quel est l'impact des polluants atmosphériques sur les sites d'observation?

Les concentrations de polluants primaires (NO , NO_2 , SO_2) sont faibles en général dans les trois sites. Les taux de monoxyde d'azote, ces gaz volatils, sont particulièrement bas à Davos et Alptal. L'absence de gaz de combustion (véhicules, chauffages) émis à proximité des deux endroits, ajoutée à l'effet protecteur exercé par la configuration des lieux, expliquent ce résultat si favorable. Il suffit de voir le nombre des dépassements de la limite journalière des taux de dioxydes de soufre et d'azote (SO_2 et NO_2) entre 1987 et 1989 pour comprendre qu'il est impossible que ces deux gaz toxiques aient pu agir comme facteurs de stress primaires sur ces

Moyennes annuelles et nombre de dépassements de la valeur limite journalière tolérée par l'OPA (SO_2 : $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$; NO_2 : $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$; O_3 : $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Lägeren		Alptal		Davos	
	MA	DL	MA	DL	MA	DL
SO_2 : 1987	14	8	4	0	0,5	0
1988	7	0	3	0	0,5	0
1989	6	0	2	0	0,5	0
NO_2 : 1987	24	3	6	0	4	0
1988	22	0	7	0	3	0
1989	22	4	6	0	3	0
O_3 : 1987	52	388	69	173	64	19
1988	58	598	72	292	65	20
1989	61	795	76	423	63	33

MA = Moyenne annuelle; DL = Nombre de dépassements de la valeur limite journalière du SO_2 et NO_2 ; moyennes horaires pour O_3

aires-tests (tableau). Seuls quelques dépassements à Lägeren témoignent de la proximité des agglomérations et axes routiers. Si les charges de SO_2 , voire NO_2 , enregistrées à Lägeren sont supérieures à celles de Davos et Alptal, elles ne sont pas particulièrement élevées par rapport aux valeurs obtenues par le NABEL (réseau national d'observation de l'air) dans les agglomérations et les centres urbains. La pollution de Lägeren est comparable à celle des stations de Tänikon et Payerne, situées en zones rurales. Si l'on examine les taux d'ozone mesurés dans les trois aires-tests, on remarque que les moyennes annuelles semblent très élevées par rapport aux concentrations nuisibles observées lors d'expérimentation sur des plantes plus vulnérables comme le trèfle violet ou le peuplier (tableau). Même si Lägeren enregistre les moyennes annuelles les plus basses, il est étonnant de constater combien de fois la valeur limite de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire fut dépassée dans ce site où la fréquence des pointes augmente chaque année. Cette comparaison indique que les charges d'ozone de Lägeren semblent bien représenter le premier facteur stressant à prendre au sérieux pour la végétation.

Les polluants atmosphériques endommagent-ils la couche de cire des aiguilles d'épicéas?

La couche de cire entourant les aiguilles de l'épicéa les protège contre la sécheresse, les champignons et les insectes. Elle n'est pas altérée par des concentrations de polluants atmosphériques semblables à celles mesurées sur les placettes d'observation. Par contre, sa structure dépend essentiellement de son exposition aux intempéries. Lors d'essais de gazage, les fortes doses d'ozone de longue durée ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ont retardé son développement, ce qui montre l'influence néfaste exercée sur des processus physiologiques internes qui lui sont liés. Même si de pareilles doses semblent improbables en plein air, ce résultat suggère l'existence éventuelle d'autres influences.

Y a-t-il un lien entre les chutes d'aiguilles de l'épicéa et les mycoses?

D'après les recherches effectuées entre 1985 et 1988, il est fort probable que les mycoses ne sont pas à l'origine des chutes d'aiguilles d'épicéas en Suisse. Ce constat général se fonde sur des analyses faites dans 21 endroits de Suisse. Cela ne nous permet pas pour autant de juger si des épidémies locales de parasites ont favorisé les défoliations observées au Sud de l'Allemagne entre 1981 et 1983 lors de l'importante propagation du rougissement des aiguilles.

Les polluants atmosphériques influencent-ils la photosynthèse des jeunes aiguilles d'épicéas en bonne santé?

Les résultats actuels ne permettent pas d'exclure totalement l'hypothèse que les polluants atmosphériques exercent une influence directe sur les échanges gazeux des jeunes aiguilles d'épicéa. Une chose est pourtant certaine: pendant toute la durée des analyses sur les aires-tests de Lägeren et de Davos, les conditions atmosphériques ont été d'une importance décisive pour la photosynthèse nette et pour le comportement des stomates. Il ressort d'une comparaison de mesures faites aujourd'hui et il y a trente ans que l'activité photosynthétique des jeunes aiguilles ne s'est que peu modifiée au cours ces trois dernières décennies. Les recherches ne permettent cependant pas de dire si la photosynthèse des anciennes aiguilles, soumises durant plusieurs années aux conditions atmosphériques de notre époque, a été compromise par une influence chronique néfaste. Si tel fut le cas, ce handicap n'aura pas trop perturbé le rendement d'assimilation global de l'arbre puisque 80 % de l'activité photosynthétique est assurée par les deux dernières générations d'aiguilles. Il faut encore tenir compte du fait qu'en raison de la méthode adoptée, les concentrations d'ozone mesurées dans la cuvette expérimentale ont toujours été 33% plus basses que celles de l'air ambiant. Dès lors, la valeur limite de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ imposée par l'ordonnance sur la protection de l'air (OPA) ne fut pratiquement jamais atteinte dans la chambre de mesure.

Quels sont les effets de l'ozone sur d'autres plantes ou d'autres essences que les épicéas?

Des analyses faites sur le blé de printemps ont permis de montrer que les concentrations d'ozone observables dans l'air ambiant diminuent la capacité photosynthétique, activent la sénescence des feuilles et abaissent le rendement d'assimilation lorsque les charges sont durables. De plus, l'ozone ralentit les processus de transport des métabolites et leurs transformations. Il a été prouvé que les fortes concentrations d'ozone agissent aussi sur le métabolisme d'autres plantes. Il est vrai que les effets y sont moins évidents et souvent très différents d'une plante à l'autre. Les deux espèces les plus vulnérables, le peuplier et le trèfle violet, subissent des dommages visibles sous des concentrations de 50 à 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ déjà; elles engendrent des nécroses ou provoquent la chute des feuilles. Les sortes sensibles de trèfle blanc présentent aussi des dommages visibles sous des concentrations d'ozone telles qu'on les mesure souvent sur le Plateau suisse en été.

Parmi les conifères analysés, le pin sylvestre est le plus vulnérable. Déjà sous des concentrations d'ozone de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 semaines), il présente des symptômes visibles d'endommagement et une modification des valeurs biochimiques du métabolisme primaire et secondaire. L'épicéa en revanche ne réagit de manière visible que sous des concentrations supérieures à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, et après une plus longue période (10 à 20 semaines); pourtant la moitié de cette dose a suffi pour causer une réaction évidente des enzymes de protection à l'intérieur de l'aiguille. Sous les mêmes concentrations d'ozone (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 6 semaines), le hêtre a également réagi par une nécrose brune des feuilles. Les concentrations d'ozone (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ayant provoqué des réactions physiologiques chez l'épicéa se situaient parmi les valeurs les plus hautes mesurées en plein air. Le comportement du sapin blanc est différent car un gazage de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'ozone ne provoque aucune réaction pas plus au niveau biochimique que visuel. Contenues dans l'air ambiant, les concentrations de 100 à 200 $\mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ représentent des valeurs élevées. Mais les résultats de ces tests sont difficilement comparables avec les conditions naturelles car la durée et la constance des gazages, ajoutées à d'autres conditions expérimentales, ne correspondent pas à la réalité.

Les plantes inférieures, comme les lichens, sont-elles endommagées par la pollution atmosphérique actuelle?

Les lichens ont un mode de vie particulier. Les substances nutritives et l'eau qu'ils absorbent proviennent uniquement de l'atmosphère, par l'intermédiaire des précipitations ou des substances qui se déposent sur eux; cette particularité les rend beaucoup plus sensibles à la pollution de l'air que la plupart des autres plantes enracinées dans un sol qui sert d'élément tam-

pon. Il a été clairement établi que la présence des lichens dépendait de la charge polluante globale locale. On a aussi prouvé que celle-ci influençait directement certains processus physiologiques fondamentaux, tels l'intensité de la photosynthèse et la production des protéines. La nocivité des polluants atmosphériques envers ces organismes est facile à démontrer.

Les apports accrus d'azote sont-ils responsables d'une accélération de la croissance?

Comparés aux moyennes obtenues en Allemagne, les apports d'azote mesurés sur les aires-tests de Davos et Alptal sont nettement inférieurs alors que ceux de Lägeren seraient plus proches des valeurs allemandes. C'est à Davos qu'on enregistre les quantités les plus faibles. Ici, les épicéas présentent un léger manque d'approvisionnement en azote. Mais la constance imperturbable des taux de croissance, certes très bas étant donné l'altitude, est un signe indiquant que le peuplement de cette parcelle n'a pas eu à subir un changement radical. Cette régularité de croissance s'observe aussi à Alptal. Si l'approvisionnement en azote y est légèrement meilleur, il n'est en tous cas pas excessif. Il est intéressant de remarquer qu'à ces deux endroits, le vieillissement n'induit pas une réduction de l'accroissement. Cela signifie que d'autres facteurs que l'âge sont déterminants pour la croissance de l'arbre. Les épicéas les mieux approvisionnés en azote sont ceux de Lägeren. Comparées aux valeurs-limites fournies par l'étude de la nutrition minérale des arbres forestiers, les teneurs en azote des aiguilles sont également ici inférieures au niveau optimal. Les taux de croissance des épicéas de cette station sont en forte régression depuis le début des années soixante. Aucune des trois parcelles d'observation ne présente des signes de surfertilisation due à l'azote. Quant à savoir si les quantités d'azote apportées par les précipitations ou les dépôts sont excessives ou non, la réponse est différente d'un lieu de croissance à l'autre. Selon le type de sol, une même dose peut menacer l'équilibre ou au contraire être supportée sans autre pour le moment.

L'acidification du sol est-elle si élevée que la toxicité des métaux lourds est capable de perturber la respiration du sol?

Les doses actuelles de cuivre et de plomb décelées dans les couches supérieures du sol forestier sont parfois deux ou trois fois plus grandes que les doses normales naturelles. Elles pourraient diminuer de 7% la respiration bactérielle du sol et entraîner ainsi un ralentissement considérable la décomposition de la litière, ce qui provoquerait des déficiences dans la libération des éléments nutritifs. Pour le moment, cette évolution n'est pas à craindre et elle n'a pas été observée sur les parcelles d'observation.

L'exploitation de la forêt et les précipitations acides provoquent-elles une baisse du pH du sol et risquent-elles de compromettre l'absorption des éléments?

Grâce aux méthodes pratiquées dans notre pays, la perte de substances nutritives due à l'exploitation des peuplements est insignifiante. Il ne semble pas que les précipitations acides aient compromis l'approvisionnement en calcium ou en magnésium des épicéas de ces parcelles. Dans les sites de Lägeren et Alptal, suffisamment riches en calcium, l'aluminium ne peut guère devenir toxique. A Davos (sol Podsol), la seule aire où le rapport calcium/aluminium est souvent défavorable, les aiguilles d'épicéas sont bien alimentées en calcium et magnésium. Leurs teneurs en aluminium, en partie très élevées, sont l'indice de la présence, par endroits, de très fortes concentrations de cet élément dans le sol. L'analyse des éléments nutritifs disponibles dans le sol révèle que, conformément à la station, l'offre de potassium, de calcium et de magnésium, bien que très limitée, est suffisante pour assurer une alimentation équilibrée dans cette station d'altitude où la végétation est peu fertile.

Y a-t-il une carence de certains éléments nutritifs?

Les aires-tests du PNR et les lieux de croissance analysés dans la région de Winterthour jouissent tous, à de rares exceptions près, de bonnes conditions nutritionnelles. Aucune carence flagrante n'a été relevée. Les collectifs d'épicéas des trois aires-tests n'indiquent pas non plus l'existence d'une relation entre la transparence du houppier et l'approvisionnement en substances nutritives. Si l'on examine encore l'allure de la croissance de ces arbres, seuls les épicéas de Lägeren pourraient être défavorisés; il serait concevable en l'occurrence que le peu de magnésium à disposition dans cet endroit soit la cause de cette situation critique. On n'a pas non plus constaté de traces de la «Montane Vergilbung», ce type de dégât bien connu en Allemagne, caractérisé par un jaunissement de la végétation à l'étage montagnard. Il est dû à une carence en magnésium observée sur les sols acides riches en azote.

Certaines provenances de sapins pourraient-elles améliorer la vitalité du peuplement?

Il n'a pas été possible de confirmer l'hypothèse selon laquelle certaines provenances de sapins blancs résistent particulièrement bien à la sécheresse et aux polluants atmosphériques. Cela résulte du fait que les provenances étudiées, toutes originaires du nord de la crête des Alpes, ne disposent pas d'une capacité, fixée génétiquement, leur permettant de résister à la sèche-

resse. Cette qualité faisant défaut, la résistance aux immissions gazeuses qui lui serait liée manque aussi car aucune des provenances examinées ne dispose de stomates capables de régler assez finement leur ouverture pour éviter des pertes d'eau tout en se protégeant contre les immissions de gaz nocifs.

Conséquences pour la recherche

La recherche manque largement d'observations d'écosystèmes de longue durée et bien évaluées, qui permettraient de classer les données acquises, de les analyser et d'identifier les modifications susceptibles de causer des problèmes.

Le taux de défoliation n'est pas suffisant à lui seul pour juger de la vitalité de l'arbre. Ce critère n'est pas assez révélateur car il est accompagné d'un trop grand nombre d'autres facteurs exerçant des influences diverses sur la densité du houppier. Les essais doivent se dérouler dans des conditions les plus proches de la réalité afin que leurs résultats permettent aussi d'acquérir des connaissances sur les processus tels qu'ils se déroulent dans la nature.

Les projets de la recherche analysant les écosystèmes dans toute leur complexité n'ont une chance d'aboutir que s'ils sont étudiés dans un cadre interdisciplinaire. Un tel mode de travail implique la collaboration de chercheurs ouverts à la communication et à la coopération. Face à l'étude de problèmes aussi complexes, l'apport du spécialiste travaillant seul risque de manquer d'efficacité. Il serait souhaitable de revaloriser les travaux interdisciplinaires dans lesquels s'imbriquent de nombreux domaines de recherche.

Conséquences pour la politique

Au vu de ces résultats, il est nécessaire de poursuivre et de renforcer la politique en matière de protection de l'environnement. Cette nécessité se justifie car:

- il a été prouvé que les substances nocives contenues dans l'air, l'ozone notamment, ont une influence dommageable sur certaines espèces végétales. Citons notamment les lichens, les sortes de trèfles blancs et violets, le blé de printemps et les peupliers;
- les études de cas poursuivies à l'étranger montrent que les immissions ont déjà engagé des processus qui, à longue échéance, provoqueront l'appauvrissement du sol et porteront une atteinte durable à la qualité des eaux souterraines.

Face à cette situation, les immissions représentent un potentiel de danger à prendre au sérieux. Plus l'écosystème est vulnérable – nous pensons aux stations d'altitude – plus les risques de réactions irréversibles sont grands.

4 Les dégâts aux forêts en Europe, 1990

Dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, le groupe de travail «Evaluation et surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts en Europe» a publié, en 1991, deux rapports: l'un sur les résultats de l'inventaire 1990 des dégâts aux forêts en Europe, l'autre sur une synthèse des connaissances sur les causes de ces dégâts.

Observation de plus de 250 000 arbres

Vingt-cinq pays d'Europe occidentale et orientale ont mené, en 1990, un inventaire des dégâts aux forêts; les observations systématiques faites dans ces pays couvrent environ 70 pour cent des 173 millions d'hectares de la forêt européenne. Une méthode d'observation harmonisée permet la comparaison des résultats.

Le critère principal – actuellement le seul applicable – pour apprécier l'état de santé d'un arbre consiste à estimer les pertes d'aiguilles ou de feuilles, c'est-à-dire le taux de défoliation de la cime. Pour cette opération, on se réfère à un album de photos en couleurs, publié dans le cadre du Programme suisse SANASILVA par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage de Birmensdorf. Cet album, utilisé dans beaucoup de pays d'Europe, donne des valeurs standard qui aident les taxateurs à estimer l'état des cimes par comparaison.

Les groupes d'inventaires des pays conduisant un inventaire estiment pour plus de 250 000 arbres le taux de défoliation par catégories de 5 % réunies ensuite en classes de dégâts. Selon l'avis des experts, les défoliations de moins de 25 pour cent (classes de dégâts 0 et 1) se situent dans la marge des variations naturelles; c'est pourquoi on accorde une attention particulière à l'évolution des classes de dégâts 2 à 4, présentant l'ampleur des dégâts à l'échelon régional ou national. (Voir tableau présenté à la page 16 de l'article «Résultats de l'inventaire des dégâts aux forêts 1991»)

Malgré les bases d'observations semblables, les comparaisons directes des résultats entre divers pays restent délicates. Une des raisons qui incitent à la prudence est l'extrême diversité des conditions naturelles en Europe ainsi que la forte variabilité des influences de l'homme sur la forêt. L'état de santé d'un mélèze en Suisse à plus de 2000 mètres d'altitude, celui d'un chêne-liège au Portugal ou d'un épicéa des bords de la Baltique est déterminé par des conditions naturelles et des influences humaines bien différentes.

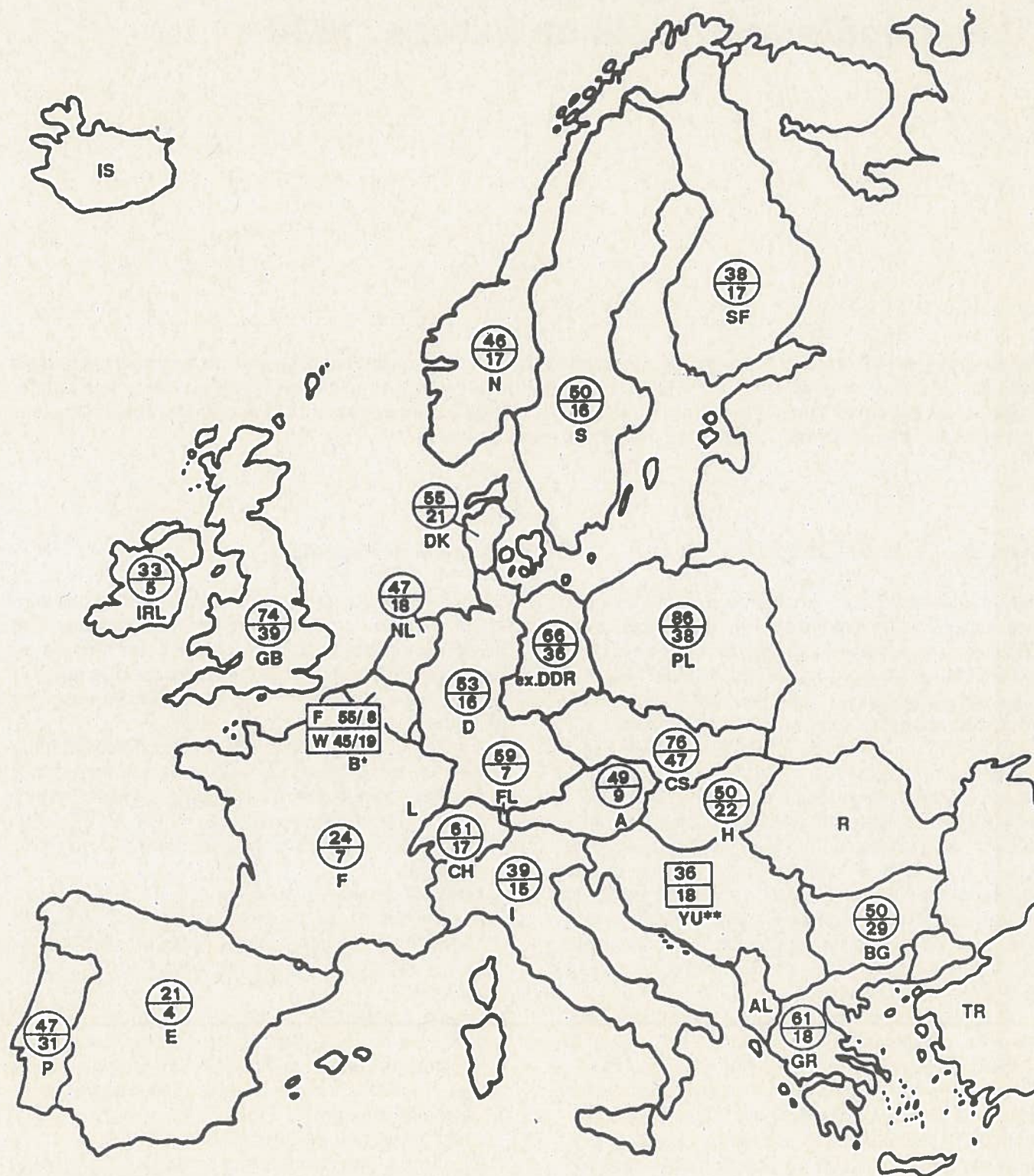
Résultats de l'inventaire

En gardant toujours présente à l'esprit la nécessaire prudence lors de la comparaison des résultats des divers inventaires nationaux, on peut, sur la base de l'inventaire 1990, différencier trois groupes de pays ou régions dans lesquels l'intensité des dégâts est d'importance diverse:

- pays présentant de très forts dégâts aux forêts (plus de 30 % des arbres dans les classes de dégâts 2 à 4, toutes espèces confondues, par ordre décroissant): Biélorussie, Tchécoslovaquie, Royaume-Uni, Pologne, Lettonie, Allemagne (5 nouveaux Länder), Portugal
- pays présentant de forts dégâts aux forêts (entre 20 et 30% des arbres dans les classes de dégâts 2 à 4, toutes espèces confondues): Bulgarie, Italie (Toscane), région de Kaliningrad, Hongrie, Danemark, Lituanie
- pays présentant des dégâts de moyenne importance (entre 10 et 20 % des arbres dans les classes de dégâts 2 à 4): Belgique-Wallonie, Yougoslavie (Slovénie), Pays-Bas, Grèce, Finlande, Norvège, Suisse, Suède, Allemagne (11 Länder), Italie
- pays présentant de faibles dégâts (moins de 10 % des arbres dans les classes de dégâts 2 à 4): Autriche, Belgique-Flandres, France, Italie (Haut-Adige), Ukraine, Espagne.

La comparaison des résultats des inventaires de 1989 et de 1990 montre l'évolution de l'état de santé des forêts européennes suivante:

- augmentation modérée (plus 10 %) d'arbres dans les classes de dégâts 2 à 4:
résineux: Tchécoslovaquie, Portugal, Allemagne (5 nouveaux Länder), Royaume-Uni, Hongrie
feuillus: Allemagne (5 nouveaux Länder), Portugal, Biélorussie,
- faible augmentation (entre plus 5 et plus 10%) d'arbres dans les classes de dégâts 2 à 4:



Inventaires nationaux

38 Proportion des arbres des classes de dégâts 1-4 (%)
17 Proportion des arbres des classes de dégâts 2-4 (%)

Inventaires régionaux

36 Proportion des arbres des classes de dégâts 1-4 (%)
18 Proportion des arbres des classes de dégâts 2-4 (%)

*B: Wallonie/Flandres

**YU: Slované

Résultats des inventaires des dégâts aux forêts de 1990 en Europe

Proportions des classes de dégâts 1 à 4 (y compris la classe d'alerte) et 2 à 4 (seulement dégâts moyens et graves et arbres secs), pour toutes les essences (exception: en Irlande et au Liechtenstein, uniquement résineux).



Résultats des inventaires des dégâts aux forêts de 1990 en Union Soviétique

Proportions des classes de dégâts 1 à 4 (y compris la classe d'alerte) et 2 à 4 (seulement dégâts moyens et graves et arbres secs), pour toutes les essences (exception: en Estonie, uniquement résineux). Des inventaires ont été réalisés dans les régions de Mourmansk, Arkhangelsk et Saint-Petersbourg. Les résultats chiffrés de ces inventaires ne sont pas encore connus.

résineux: Pologne, Suisse

feuillus: Hongrie, Grèce, Pologne, Royaume-Uni, Italie (Haut-Adige), Suisse

- faible diminution (entre moins 5 et moins 10%) d'arbres dans les classes 2 à 4:
résineux: Estonie, Irlande, Liechtenstein, Danemark
feuillus: aucun pays
- diminution modérée (moins 10% et plus) d'arbres dans les classes de dégâts 2 à 4:
résineux: Biélorussie, région de Kaliningrad
feuillus: aucun pays.

Si on examine l'évolution de l'état de santé des différentes espèces, on remarque la même tendance générale à la détérioration. La majorité des pays annoncent une augmentation d'arbres dans les classes de dégâts 2 à 4 pour les espèces suivantes: épicéa, sapin, pin et hêtre. Pour le chêne, l'essence la plus touchée, les tendances sont plus contrastées: amélioration de l'état de santé dans 6 pays, détérioration dans 3 pays.

Evolution de 1986 à 1990: tendance à l'augmentation

Beaucoup de pays surveillent depuis le début des années 1980 l'état de santé de leurs forêts; le groupe de travail sur l'harmonisation des méthodes d'observation a commencé ses travaux en 1985. On dispose actuellement des données chiffrées de 8 pays ou régions pour la période 1986-1990 et de 9 pays ou régions pour celle entre 1987 et 1990.

Il est intéressant dès lors d'analyser l'évolution des dégâts aux forêts sur une période plus longue, comprenant 4 ou 5 inventaires; une variation annuelle des taux de défoliation ne devrait pas être analysée de façon individuelle, mais placée dans le contexte d'une série chronologique des inventaires des dégâts aux forêts réalisés depuis 1986.

On remarque une tendance générale à l'augmentation des dégâts aux forêts caractérisés par une perte de masse foliaire.

De fortes détériorations (plus de 5 % d'augmentation par an d'arbres dans les classes de dégâts 2 à 4) de l'état de santé des forêts entre 1986 (ou 1987) et 1990 ont été enregistrées:

- résineux: Bulgarie, Tchécoslovaquie, Allemagne (5 nouveaux Länder), Belgique-Wallonie, Royaume-Uni et Finlande.
- feuillus: Allemagne (5 nouveaux Länder).

Des augmentations sensibles des dégâts aux forêts (entre 2 et 5 % d'arbres endommagés de plus chaque année) ont été signalées:

- résineux: Yougoslavie, Italie (Haut-Adige), Hongrie, Suède, Irlande, Luxembourg et Belgique-Flandres.
- feuillus: Italie (Haut-Adige), Bulgarie, Luxembourg, Danemark, Royaume-Uni, Hongrie et Finlande.

A ces aggravations ne s'oppose qu'une amélioration sensible de l'état des feuillus en Espagne.

Dans les autres cas, les modifications des proportions d'arbres dans les classes de dégâts 2 à 4 atteignent une valeur annuelle comprise entre plus ou moins 2 %. Bien que non négligeables, ces modifications ont relativement peu de signification par rapport aux fluctuations annuelles. Elles peuvent cependant, en particulier en cas d'aggravation faible mais persistante, constituer une source d'inquiétude et montrent qu'il est nécessaire de poursuivre à long terme l'observation des écosystèmes forestiers.

Causes des dégâts: le rôle de la pollution atmosphérique

Le deuxième rapport du groupe de travail «Evaluation et surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts en Europe» présente une synthèse des connaissances actuelles sur les causes des dégâts aux forêts.

Cette synthèse est centrée avant tout sur le rôle de la pollution atmosphérique dans le phénomène du dépérissement des forêts, comme le voulait le mandat donné au groupe de travail par les organes exécutifs de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance.

Le groupe de travail formule treize conclusions, reprises ci-dessous. Le rôle joué par les facteurs biotiques (insectes par exemple) ou abiotiques (sol, climat) dans le complexe des causes du dépérissement des forêts n'est pas explicitement repris dans ces conclusions, mais ne doit pas être pour autant passé sous silence.

1. Il se peut que le phénomène «dépérissement des forêts» ait des effets importants allant bien au-delà de la production de bois. Les forêts exercent des fonctions essentielles (par exemple, maintien de la diversité génétique, habitat pour la flore et la faune sauvages, protection des paysages, loisirs). Elles jouent en outre un rôle important dans le cycle hydrologique et toute perturbation entraînera des modifications des processus hydrologiques et du cycle de l'eau. Dans les régions montagneuses, la stabilité des pentes pourrait être alors compromise. Or la lutte contre les avalanches et la mise en place de moyens de protection artificiels sont coûteuses et peuvent se révéler difficiles à réaliser. Les forêts ont une valeur esthétique non négligeable dont il faut tenir compte dans toute évaluation des dégâts subis.
2. En matière de dépérissement des forêts, il n'y a pas un seul et même problème, mais une multitude d'atteintes différentes dont certaines peuvent être délimitées dans l'espace et sont caractérisées par des symptômes particuliers. Dans bien des cas, le dépérissement des forêts est spécifique d'une essence et d'un lieu donné.
3. Les données sur l'ampleur de la défoliation et de la décoloration qui sont communiquées au niveau national ne sont pas suffisantes pour en tirer des

conclusions sur les effets de la pollution atmosphérique sur l'état des forêts. Les méthodes d'évaluation et d'observation de l'état de santé des forêts en Europe fournissent un tableau très utile de la situation à cet égard, mais ne sont pas conçues pour clarifier les relations de cause à effet.

4. La qualité de l'air et le modèle des retombées de polluants atmosphériques varient dans le temps et dans l'espace. Les zones de dépérissement des forêts sont exposées à des concentrations de polluants très différentes, l'importance relative de chacune variant d'un lieu à l'autre.
5. Les polluants atmosphériques n'agissent pas isolément. Des polluants très divers sont présents en tout lieu et leur association pourra produire des effets que ne donnerait pas la même concentration de chaque polluant agissant individuellement (synergie).
6. Les quantités de dépôts de polluants sont beaucoup plus élevées en forêt qu'en plein champ. Dans certaines conditions, elles peuvent être au moins trois fois supérieures.
7. Il ne semble pas que l'impact direct de la pollution atmosphérique ait joué un rôle primordial dans le dépérissement des forêts à l'échelle régionale en dehors de l'Europe centrale, bien qu'il ait pu être le facteur le plus important au niveau local. Il se peut que les effets directs de certains polluants aient accru la sensibilité des arbres à d'autres contraintes. Cependant, depuis quelques années, les effets directs de l'ozone à l'échelle régionale sont de plus en plus considérés comme un facteur potentiel de stress pour les essences qui y sont sensibles.
8. L'impact indirect sous forme de dépôts acides a été associé à nombre de cas de dépérissement signalés. Les retombées de sulfates et de nitrates ont rendu les sols plus acides, favorisant la mobilisation de l'aluminium qui, dans certains cas, atteint des concentrations potentiellement toxiques. L'acidification du sol a aussi été accompagnée d'une perte de cations basiques, d'où un déséquilibre nutritionnel de grande envergure entraînant fréquemment une décoloration des feuilles et aiguilles des arbres.
9. Les effets indirects d'une forte concentration d'ozone sur de vastes superficies en Europe occidentale

risquent de provoquer une sénescence prématurée chez les essences les plus répandues, les arbres étant ainsi prédisposés aux effets d'autres stress (agents pathogènes, climat, sol). De tous les polluants atmosphériques recensés jusqu'ici dans les zones forestières même reculées, l'ozone est celui qui présente la plus forte phytotoxicité, eu égard à sa concentration et à la durée d'exposition.

10. Il semble que les dépôts d'azote sur les sols ainsi que sur les parties aériennes des végétaux interviennent dans plusieurs cas de dépérissement notifiés. L'augmentation de la concentration d'azote favorise la croissance et augmente la demande de nutriments. Si ceux-ci font défaut, il peut s'ensuivre une carence en minéraux. Par ailleurs, dans certaines conditions, l'accroissement des dépôts d'azote peut être associé à une plus grande sensibilité aux gels et une moindre résistance aux agents pathogènes (insectes et champignons en particulier).
11. Il n'a pas été mis en évidence une réduction générale de la croissance en Europe, bien qu'un certain ralentissement ait pu être signalé au niveau local ou régional. Plusieurs types de dépérissement forestier semblent ne pas être associés, pour l'heure, à un ralentissement de la croissance.
12. Les prévisions concernant les changements climatiques suscitent de vives préoccupations, car il est depuis longtemps notoire (et des travaux récents l'ont confirmé) que les forêts sont sensibles aux extrêmes climatiques. Il se peut que la pollution atmosphérique ait accru cette sensibilité et une interaction entre les changements climatiques et la pollution de l'air risque de déclencher de nouvelles phases de dépérissement.
13. Dans bien des régions, la pollution atmosphérique fait peser une lourde menace sur la pérennité de la production forestière à long terme. Ces régions ont été recensées et aucun effort ne doit être ménagé pour y réduire la pollution. Ailleurs, le rôle de la pollution est moins certain, mais on pense qu'elle représente un stress pour les forêts.

(Extrait de la synthèse du Rapport intérimaire sur les relations de cause à effet dans la dégradation des forêts, publié par la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies, 1991; texte traduit par Pierre Mühlemann)

