

BUWAL/Direction fédérale des forêts, Berne
Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, WSL
Birmensdorf

Rapport Sanasilva sur les dégâts aux forêts 1989

Berne et Birmensdorf, novembre 1989

Diffusion:

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

Impact des dégâts aux forêts suisses

Etat et évolution des dégâts dans les régions tests d'Altdorf, Flims et Zofingue

Responsables scientifiques

Résumé

Peter Greminger, Coordination du Programme Sanasilva, FNP Birmensdorf

1. Résultats de l'inventaire des dégâts aux forêts de 1989
Peter Brassel, FNP
2. Evolution des dégâts dans les régions tests d'Altdorf, de Flims et de Zofingue
Daniel Lüscher, FNP
3. Inventaires des dégâts aux forêts de 1988 en Europe
Philippe Dormont, Coordination du Programme Sanasilva, FNP

Rédaction

Coordination du Programme Sanasilva
avec l'aide du service de presse et d'information NFP

Traduction

Jean-Bernard Chappuis, Le Sentier

Maquette et composition des tableaux
Kurt Rauber et René Rüegg

Graphique et couverture

Mirek Sebek et Doris Pichler

Couverture:

Pin moyennement atteint (catégorie de pertes d'aiguille de 26 à 60 pour cent)

Table des matières

Résumé	5
1. Résultats de l'inventaire des dégâts aux forêts de 1989	6
Résultats	
Ampleur et évolution des dégâts des arbres de plus de 12 cm de diamètre	6
Les dégâts par essence	8
Evolution nationale et régionale des dégâts	10
Evolution individuelle des dégâts depuis 1988	13
Défoliation imputable à des causes connues	13
Les dégâts dans les jeunes peuplements	13
Buts et limites de l'inventaire des dégâts aux forêts	14
Méthodes	14
Dispositif d'échantillonnage et nombre des données	14
Estimation du taux de défoliation	15
Définition des classes de dégâts	15
Fixation de la limite entre les arbres sains et atteints	15
Erreurs aléatoires et systématiques	15
Pondération des données individuelles	16
Exécution de l'inventaire	16
2. Evolution des dégâts dans les régions tests d'Altdorf, de Flims et de Zofingue	17
3. Inventaires des dégâts aux forêts de 1988 en Europe	19

Résumé

Par rapport à l'année précédente, l'état des forêts suisses est resté stationnaire dans l'ensemble du pays. Les arbres ayant perdu plus de 10 pour cent ou plus de 25 pour cent de leurs aiguilles ou de leurs feuilles forment toujours 43, respectivement 12 pour cent du total comme en 1988. Pour assurer la comparabilité des inventaires à l'échelon international, la classe de dégâts 1 est aussi appelée classe d'alerte et on a accordé une attention particulière à l'évolution des classes de dégâts 2 à 4.

L'évolution diffère selon la région. La proportion des arbres atteints a de nouveau augmenté sur le Plateau (+6 pour cent), dans les Préalpes (+2 pour cent) et au Sud des Alpes (+5 pour cent) tandis que les forêts du Jura se sont améliorées (-11 pour cent). Les arbres des classes de dégâts 1 à 4 représentent une proportion de 53 pour cent dans les Alpes; elle dépasse nettement celle des autres régions: Jura 37 pour cent, Plateau 31 pour cent, Préalpes 42 pour cent, Sud des Alpes 48 pour cent.

Comme les années précédentes, l'examen, à l'aide de vues aériennes infrarouges, de l'état des forêts d'Altdorf, de Flims et de Zofingue en 1989 confirme que l'évolution varie beaucoup d'un endroit à l'autre et qu'elle ne correspond pas forcément à la moyenne nationale. Dans les trois périmètres tests, on n'a enregistré que des cas d'aggravation et aucun d'amélioration.

Il faut souligner l'évolution du chêne et du sapin. Chez ce dernier, qui depuis des décennies cause du souci aux forestiers, la tendance à l'aggravation des dégâts s'est accentuée dans une proportion jamais observée ces dernières années; la proportion des sujets moyennement atteints (taux de défoliation de 26 à 60 pour cent) a augmenté de 8 pour cent. Chez le chêne, qui subit aussi de plus en plus de dommages en Europe, on enregistre une aggravation de 4 pour cent dans cette classe de dégâts.

Les cinq inventaires comparables de 1985 à 1989 montrent que l'évolution de l'état de santé varie suivant l'essence et les régions. Les présents résultats ne permettent pas encore de tirer des conclusions définitives. Les études sur l'état des forêts doivent encore être poursuivies à long terme à l'aide d'inventaires des dégâts et de placettes d'observation permanentes.

Sur la base des inventaires de 1988, 24 pays européens en plus de la Suisse annoncent aussi des dégâts attribués à divers facteurs naturels ou anthropogènes. Suivant leur nature et leur ampleur, la pollution de l'air est considérée comme une cause importante ou comme un facteur à ne pas exclure.

But du rapport

Le présent rapport a pour but de renseigner sur l'état et l'évolution de la santé des forêts suisses. Il doit fournir aux autorités responsables les données nécessaires pour ordonner à temps les mesures de lutte contre les dégâts. Par l'intermédiaire des médias, il cherche à transmettre à un large public un tableau de l'état de nos forêts.

1. Résultats de l'inventaire des dégâts aux forêts de 1989

édition 1990

Pour l'ensemble du pays, l'état de santé des forêts est resté stationnaire en 1989. Les cimes des arbres se sont améliorées sur le Jura et détériorées sur le Plateau, dans les Préalpes et au Sud des Alpes.

Par rapport à 1988, les cimes des arbres des forêts suisses n'ont pas changé dans l'ensemble. Celles avec un taux de défoliation de plus de 10 pour cent forment toujours 43 pour cent du total. Mais l'évolution varie beaucoup d'une région à l'autre: sur le Jura, cette proportion a diminué de 48 à 37 pour cent, tandis qu'elle a augmenté sur le Plateau de 25 à 31 pour cent, dans les Préalpes, de 40 à 42 pour cent et au Sud des Alpes, de 44 à 49 pour cent. Elle est restée stationnaire dans les Alpes, au niveau de 53 pour cent.

Pour permettre les comparaisons internationales, la classe de dégâts englobant les taux de défoliation de 11 à 25 pour cent est désignée «Classe d'alerte». Autre nouveauté, pour décrire l'ensemble des dégâts, on réunit les arbres avec plus de 25 pour cent de défoliation en un seul groupe. Depuis 1988, la proportion de ces derniers est restée de 12 pour cent pour l'ensemble du pays.

Résultats

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

Les figures 1 et 2 montrent, pour les résineux et les feuillus, les fréquences des taux de défoliation par catégories de 5 pour cent parmi les arbres observés en 1988

et 1989. Ces courbes forment la base des cinq classes de dégâts. Elles n'indiquent aucune différence importante ni pour les feuillus, ni pour les résineux.

Proportions pondérées en pour-cent

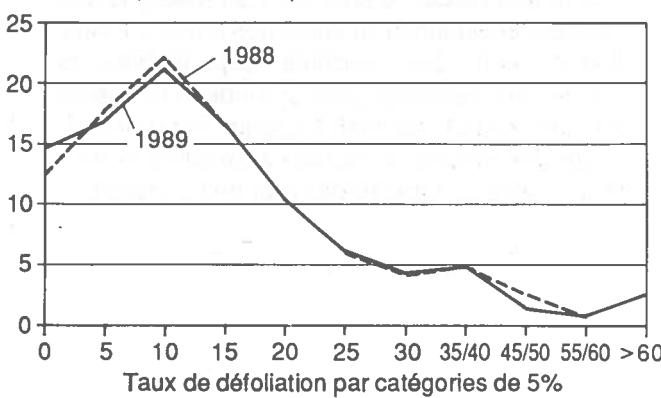


Figure 1

Résineux:

Taux de défoliation par catégories de 5 pour cent.

Proportions pondérées des résineux lors des inventaires des dégâts de 1988 et de 1989.

Proportions pondérées en pour-cent

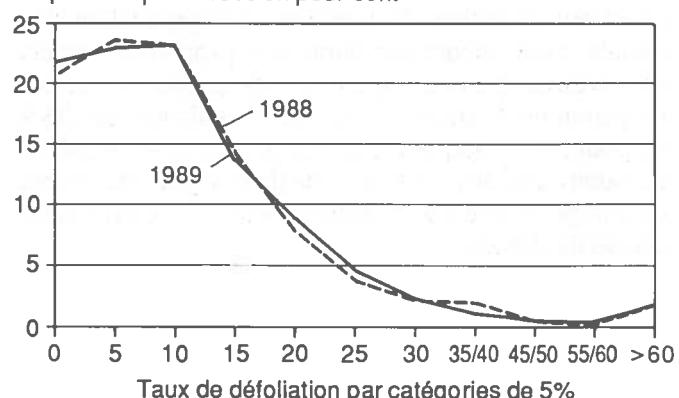


Figure 2

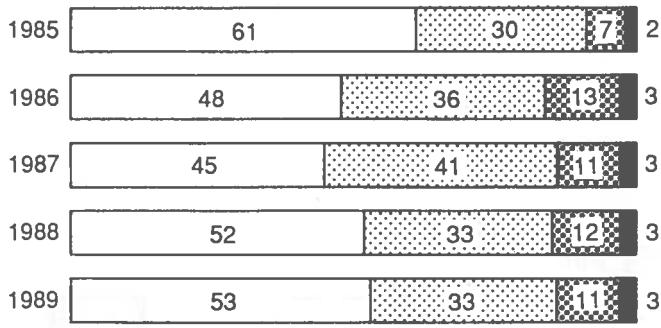
Feuillus:

Taux de défoliation par catégories de 5 pour cent.

Proportions pondérées des feuillus lors des inventaires des dégâts de 1988 et de 1989.



Résineux

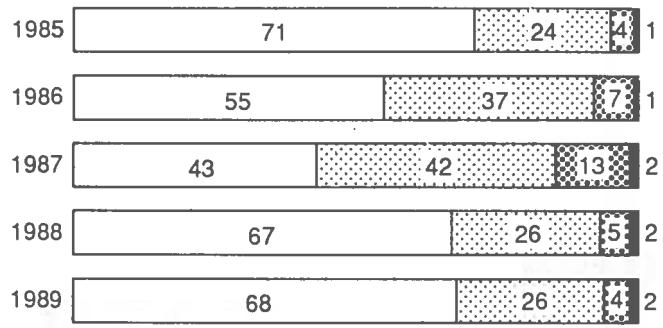


0-10% Taux de défoliation Classe 0
 11-25% Taux de défoliation Classe 1
 26-60% Taux de défoliation Classe 2
 > 60% Taux de défoliation Classes 3 et 4

Figure 3

Comparaison des proportions pondérées des taux de défoliation de 1985 à 1989 pour les résineux.

Feuillus



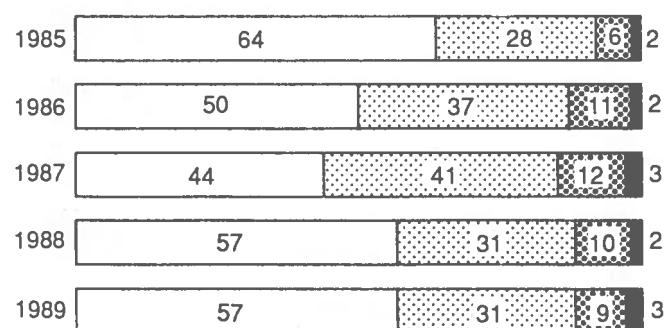
0-10% Taux de défoliation Classe 0
 11-25% Taux de défoliation Classe 1
 26-60% Taux de défoliation Classe 2
 > 60% Taux de défoliation Classes 3 et 4

Figure 4

Comparaison des proportions pondérées des taux de défoliation de 1985 à 1989 pour les feuillus.

La récapitulation des taux de défoliation estimés (figures 3, 4 et 5) montre que les proportions des classes de dégâts 1 à 4 (y compris la classe d'alerte) n'ont guère changé depuis 1988 pour les résineux et pour les feuillus. Celles des classes de dégâts 2 à 4 (sans la classe d'alerte) ne se sont pas non plus beaucoup modifiées. Actuellement, l'état des forêts est globalement stationnaire; il n'a pas continué de s'améliorer.

Tous les arbres



0-10% Taux de défoliation Classe 0
 11-25% Taux de défoliation Classe 1
 26-60% Taux de défoliation Classe 2
 > 60% Taux de défoliation Classes 3 et 4

Figure 5

Comparaison des proportions pondérées des taux de défoliation de 1985 à 1989 pour tous les arbres.

Les dégâts par essence

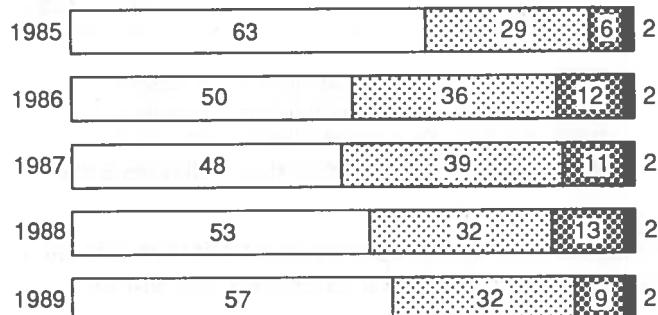
La proportion des épicéas (figure 6) des classes de dégâts 1 à 4 a baissé de 47 à 43 pour cent. On constate aussi une réduction des arbres atteints dans les classes 2 à 4 de 15 à 11 pour cent. L'épicéa est particulièrement important car c'est l'essence principale en Suisse; il est donc très commun et influence considérablement le résultat global de l'inventaire et celui des résineux.

L'état des sapins (figure 7) s'est détérioré. La fréquence des classes 1 à 4 correspond à peu près à celle de 1987. Avec 23 pour cent, celle des classes 2 à 4 atteint pour le moment son maximum.

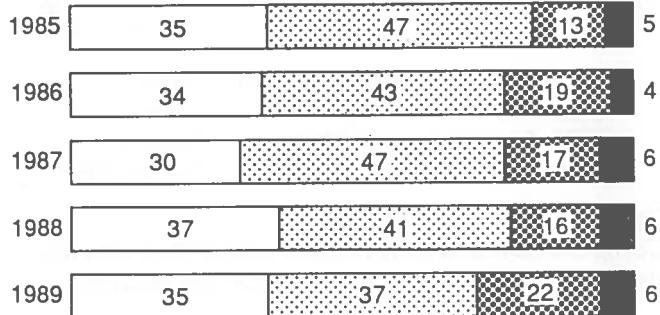
Le pin (figure 8) reste l'essence avec les cimes dans le pire état. La proportion des classes 1 à 4 est restée pratiquement inchangée, mais celle des classes 2 à 4 a atteint un maximum avec 28 pour cent.

Le mélèze (figure 9) enregistre une légère hausse des classes 1 à 4; en revanche les classes 2 à 4 subissent un changement insignifiant.

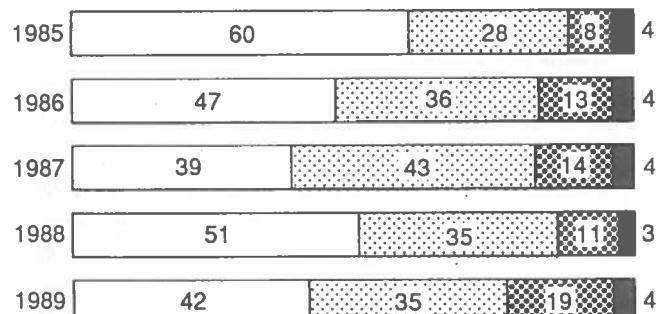
6 Epicéa



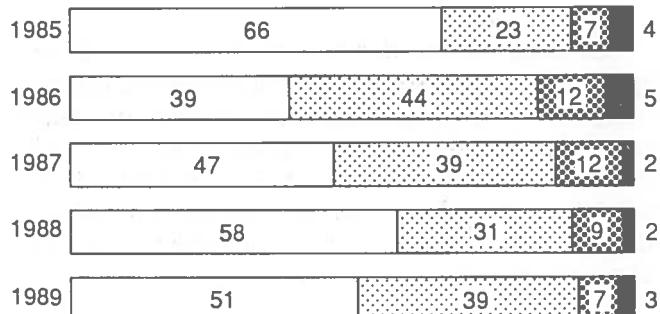
8 Pin



7 Sapin



9 Mélèze



0-10% Taux de défoliation Classe 0
 11-25% Taux de défoliation Classe 1
 26-60% Taux de défoliation Classe 2
 > 60% Taux de défoliation Classes 3 et 4

0-10% Taux de défoliation Classe 0
 11-25% Taux de défoliation Classe 1
 26-60% Taux de défoliation Classe 2
 > 60% Taux de défoliation Classes 3 et 4

Figures 6-9

Comparaison de proportions pondérées des taux de défoliation de l'épicéa, du sapin, du pin et du mélèze, de 1985 à 1989.

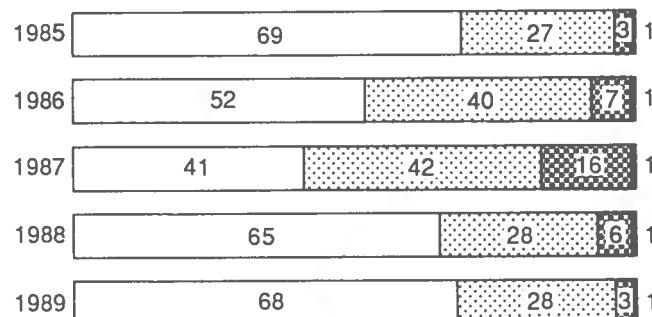
Les cimes des hêtres (figure 10) se sont légèrement améliorées. Si la baisse de la proportion des classes 1 à 4 est insignifiante, celle des classes 2 à 4 est remarquable. Le hêtre est le principal feuillu des forêts suisses; il exerce une grande influence sur le résultat global de ce type d'essences.

L'état des chênes (figure 11) tend nettement à s'aggraver: les proportions des classes 1 à 4 et 2 à 4 ont passé respectivement de 44 à 54, et de 7 à 11 pour cent.

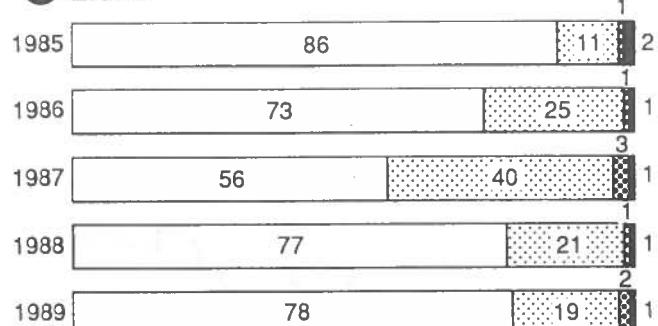
L'érable et le frêne (figures 12 et 13) n'enregistrent pratiquement pas de changements.

Le résultat global est déterminé par l'amélioration des deux essences dominantes, l'épicéa et le hêtre, alors que les autres essences principales subissent une aggravation en partie sensible de l'état de leurs cimes. La diversité des réactions des essences montre qu'il faut nuancer l'appréciation de l'état de santé.

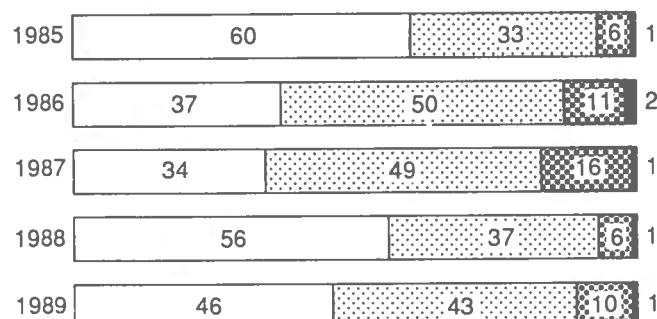
10 Hêtre



12 Érable

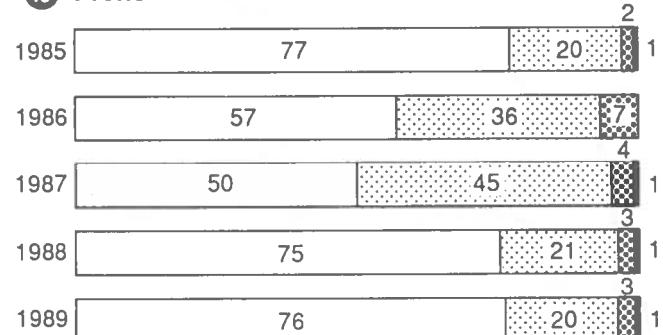


11 Chêne



0-10% Taux de défoliation Classe 0
 11-25% Taux de défoliation Classe 1
 26-60% Taux de défoliation Classe 2
 > 60% Taux de défoliation Classes 3 et 4

13 Frêne



0-10% Taux de défoliation Classe 0
 11-25% Taux de défoliation Classe 1
 26-60% Taux de défoliation Classe 2
 > 60% Taux de défoliation Classes 3 et 4

Figures 10-13

Comparaison de proportions pondérées des taux de défoliation du hêtre, du chêne, de l'érable et du frêne, de 1985 à 1989.

Evolution nationale et régionale des dégâts

La figure 14 montre l'évolution de l'ensemble des dégâts pour tout le pays de 1985 à 1989. La proportion des classes 1 à 4 (y compris la classe d'alerte) était encore de 36 pour cent en 1985; elle a augmenté jusqu'à 56 pour cent en 1987. En 1988, on a observé une rémission sensible qui ne s'est pas poursuivie en 1989. La proportion des classes 2 à 4 (sans la classe d'alerte) subit une évolution parallèle; elle a atteint un maximum de 15 pour cent en 1987. Les proportions des classes 3 et 4 (arbres gravement atteints et secs) sont restées pratiquement identiques depuis le début des inventaires au niveau de 2 à 3 pour cent. En revanche l'évolution des cinq régions Jura, Plateau, Préalpes, Alpes et Sud des Alpes diffère.

Sur le Jura, l'amélioration des cimes a continué. Les proportions des arbres des classes 1 à 4 et 2 à 4 ont baissé respectivement de 48 à 37 et de 12 à 10 pour cent. La similitude de l'évolution des classes 1 à 4 et 2 à 4 pendant toute la période de 1985 à 1989 est frappante.

Sur le Plateau, les taux de défoliation ont à nouveau augmenté. Les proportions des classes 1 à 4 et 2 à 4 ont passé respectivement de 25 à 31, et de 5 à 7 pour cent.

Dans les Préalpes, la proportion des classes 2 à 4 a augmenté, entraînant une légère aggravation. Elle est actuellement de 11 pour cent, et celle des classes 1 à 4 de 42 pour cent.

Dans les Alpes, il n'y a pratiquement pas de changements. Les classes 1 à 4 atteignent un niveau extrêmement élevé de 53 pour cent. Les classes 2 à 4 ont reculé de 18 à 16 pour cent. Dans cette région, les taux de défoliation restent les plus grands.

En tenant compte des classes 1 à 4, l'état des cimes au Sud des Alpes s'est à nouveau un peu détérioré. En revanche la proportion des classes 2 à 4 a baissé de 14 à 12 pour cent. Dans cette région, on a notamment remarqué un jaunissement précoce de nombreux bouleaux, qui a affecté 22 pour cent des sujets observés contre seulement 8 pour cent au Nord des Alpes.

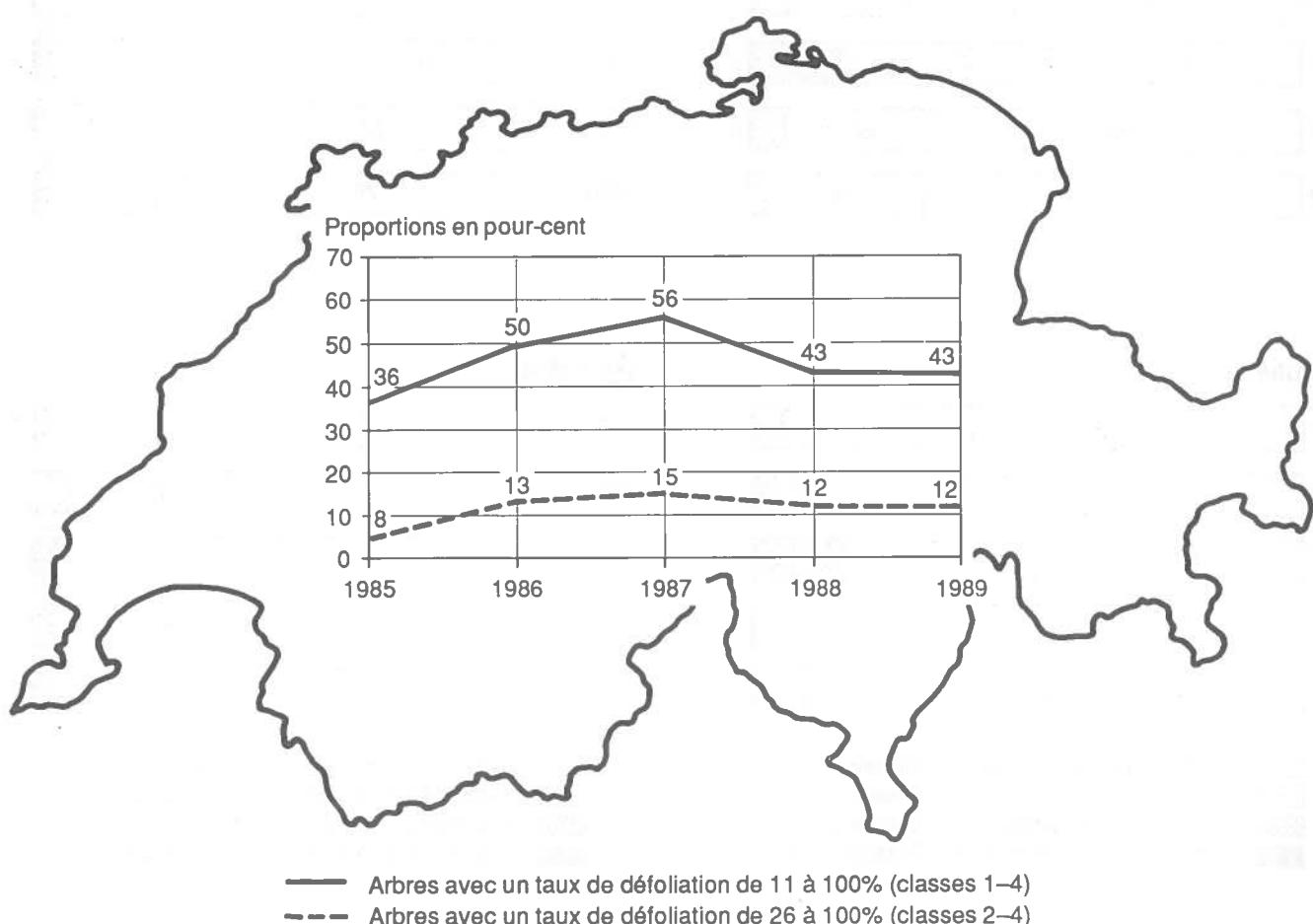
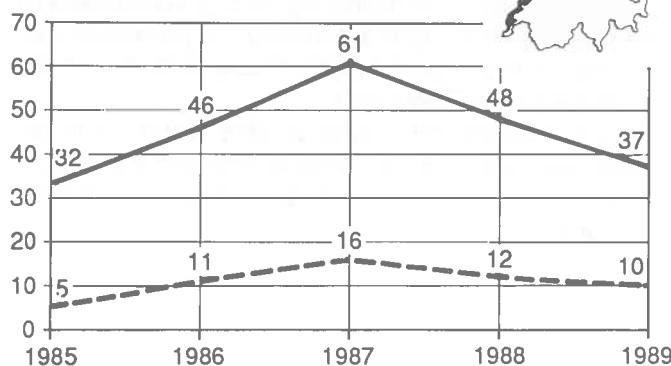


Figure 14
Proportions pondérées des arbres endommagées de 1985 à 1989.

15

Proportions en pour-cent

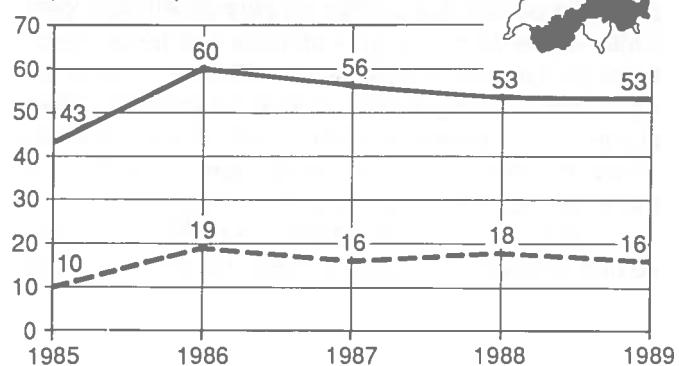
Jura



18

Proportions en pour-cent

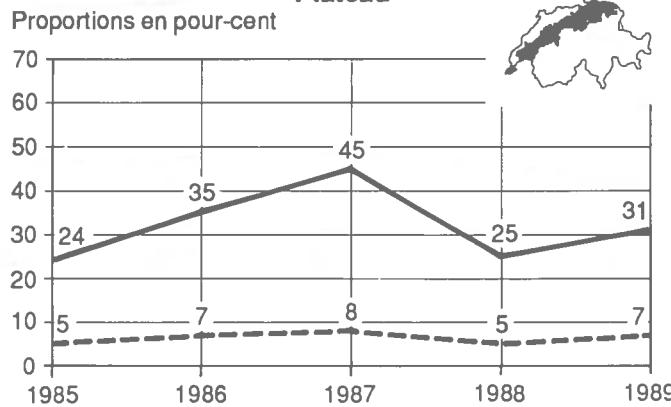
Alpes



16

Proportions en pour-cent

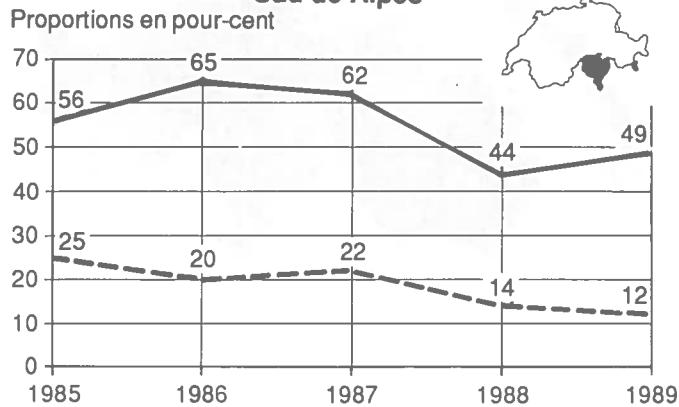
Plateau



19

Proportions en pour-cent

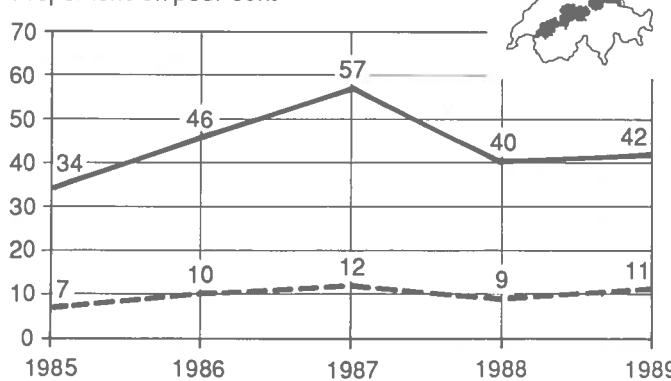
Sud de Alpes



17

Proportions en pour-cent

Préalpes



— Arbres avec un taux de défoliation de 11 à 100% (classes 1-4)
 - - - Arbres avec un taux de défoliation de 26 à 100% (classes 2-4)

Figures 15–19

Proportions pondérées des arbres endommagés de 1985 à 1989 dans les régions Jura, Plateau, Préalpes, Alpes et Sud des Alpes.

Pour déterminer l'évolution des dégâts en montagne, on a regroupé les placettes situées à plus de 900 m d'altitude ou sur des pentes de plus de 40 pour cent. Cette «zone de montagne» englobe une partie importante du Jura, des Préalpes, des Alpes et du Sud des Alpes mais ne comprend pas le fond des grandes vallées alpines ni les parties plates du Jura oriental. Elle est définie par des critères topographiques objectifs, contrairement aux cinq régions géographiques.

Dans la zone de montagne (figure 20), on a observé une amélioration certes minime des cimes: les pro-

portions des classes de dégâts 1 à 4 et 2 à 4 ont baissé respectivement de 51 à 49, et de 16 à 14 pour cent.

Dans la zone de plaine (figure 21), la défoliation a progressé quelque peu à nouveau. La proportion des classes 1 à 4 est maintenant de 32 pour cent et celle des classes 2 à 4 de 7 pour cent.

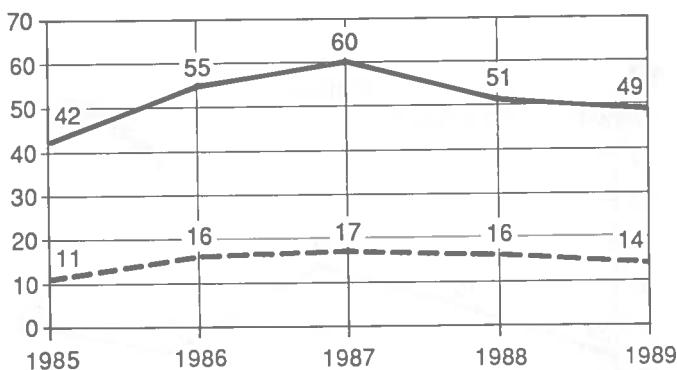
La diversité de l'évolution des cimes dans les différentes régions est un indice de l'existence d'interdépendances écologiques. Cette constatation incite donc aussi à une appréciation nuancée.

20



Zone de montagne

Proportions en pour-cent

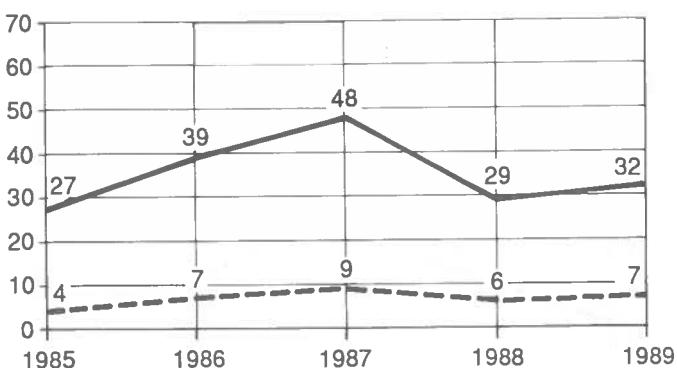


21



Zone de plaine

Proportions en pour-cent



— Arbres avec un taux de défoliation de 11 à 100% (classes 1-4)
- - - Arbres avec un taux de défoliation de 26 à 100% (classes 2-4)

Figures 20 et 21

Proportions pondérées des arbres endommagés de 1985 à 1989 dans les zones de plaine et de montagne.

Proportions des nombres d'arbres en pour-cent

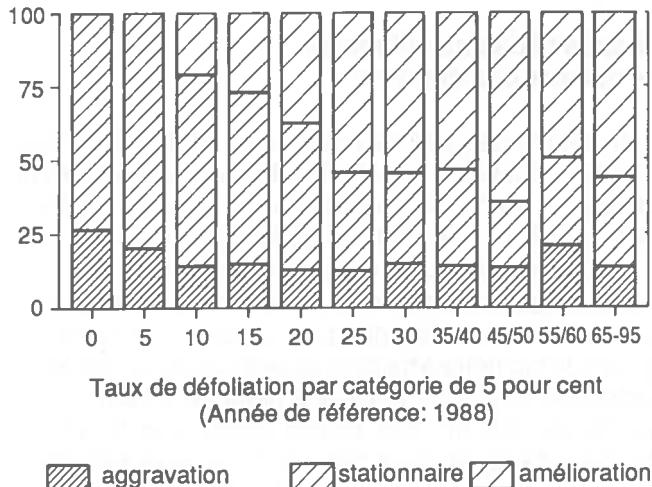


Figure 22

Evolution du taux de défoliation des arbres de 1988 à 1989 (données non pondérées).

Evolution individuelle des dégâts depuis 1988

Les résultats concernant l'évolution individuelle des dégâts se basent sur l'estimation des taux de défoliation de 7441 arbres en 1988 et 1989. On a admis un changement d'état si les taux de défoliation différaient d'au moins 10 pour cent.

Par rapport à 1988, on a constaté que 64 pour cent des arbres n'avaient pas changé, que 18 pour cent s'étaient améliorés et que 18 pour cent avaient des cimes plus claires.

Des arbres atteints se remettent, tandis que l'état de sujets de toutes les classes de dégâts peut empirer. On ne distingue pas de tendance uniforme parmi l'ensemble des arbres examinés.

L'interprétation des résultats est rendue difficile par la faible représentation des arbres avec de forts taux de défoliation. Quand les pertes d'aiguilles et de feuilles dépassent 60 pour cent, il n'est plus possible d'interpréter les résultats à cause de leur grande dispersion.

La figure 22 illustre l'évolution individuelle des dégâts depuis 1988 en indiquant les proportions non pondérées des cas d'amélioration, de stabilisation et d'aggravation. La proportion des arbres sans changement est élevée dans les catégories de faible taux de défoliation et diminue quand la défoliation augmente. En revanche, la proportion des cas d'amélioration est grande dans les catégories de forte défoliation. La proportion des arbres dont l'état empire est semblable dans toutes les catégories.

Défoliation imputable à des causes connues

Les cas de défoliation due à ces agents identifiables, insectes, champignons, ou facteurs climatiques tels que le vent ou la neige, ne sont pas compris dans l'estimation des taux de défoliation. Lors de l'inventaire des dégâts de 1989, 23 pour cent des arbres présentaient des dégâts avec une cause spécifique reconnaissable. Les pertes d'aiguilles ou de feuilles des arbres comportant aussi des dégâts dus à des causes connues sont légèrement supérieures à celles des arbres sans dégâts d'origine connue.

Les dégâts dans les jeunes peuplements

Depuis le début des inventaires des dégâts en 1985, on inclut les jeunes peuplements. Ils sont relevés sur les placettes ayant un peuplement principal de jeunes plants (recrûs et fourrés) ou d'âges mélangés. On taxe tous les arbres à partir de 30 cm de hauteur jusqu'à un diamètre de 12 cm.

Les arbres sont répartis dans les classes «aucun dégât visible», «dégâts dus à des causes connues», «dégâts dus à des causes inconnues». Ces derniers sont subdivisés en «pertes d'aiguilles ou de feuilles», en «nécroses des aiguilles ou des feuilles» (aiguilles ou feuilles en partie mortes) et en «autres dégâts dus à des causes inconnues». La plupart des dégâts proviennent de causes connues, par exemple morsures du gibier, pression de la neige, gel, sécheresse, insectes, champignons, ou bûcheronnage. Depuis 1988, ils sont observés plus rarement, notamment chez les feuillus.

Tableau 1:
**Dégâts dans les jeunes peuplements
en 1988 et 1989**

Evolution de la proportion des nombres de résineux et de feuillus par catégories de dégâts de 1988 à 1989

	sans dégâts		cause des dégâts identifiable		non identifiable	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Résineux	46%	63%	52%	35%	2%	3%
Feuillus	45%	76%	55%	23%	0%	1%
Tous les arbres	45%	72%	54%	27%	1%	1%

Dans les jeunes peuplements, on a observé peu de dégâts sans cause identifiable, spécifique, tels que défoliation, nécrose ou dessèchement de la cime. Depuis 1988, leur proportion est restée constante, à 1 pour cent du nombre des tiges, et elle a rejoint le niveau de 1985.

Buts et limites de l'inventaire des dégâts aux forêts

L'inventaire Sanasilva des dégâts aux forêts est destiné à surveiller à grande échelle l'état de santé des forêts suisses et ses modifications. Il consiste à apprécier chaque année l'état des cimes d'un échantillon représentatif d'arbres. Il est intégré dans l'Inventaire forestier national et fournit des résultats pour l'ensemble du pays ainsi que pour les régions Jura, Plateau, Préalpes, Alpes et Sud des Alpes. Ses résultats sont ventilés par essences et par classes de taux de défoliation.

L'inventaire des dégâts ne peut guère donner d'informations significatives pour des territoires restreints, tels que les cantons. Il ne renseigne pas sur la situation à l'échelon local à cause de son réseau d'échantillonnage à larges mailles. Conformément à ses objectifs, il n'est pas en mesure d'expliquer la cause des dégâts observés.

Méthodes

Dispositif d'échantillonnage et nombre des données

L'inventaire des dégâts procède par échantillonnage, 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.

Les jeunes arbres étant beaucoup plus serrés que les plus âgés, on en recrute un nombre représentatif sur une surface beaucoup plus petite. Les arbres à partir de 36 cm de diamètre à hauteur de poitrine sont relevés sur un cercle de 500 m² et ceux à partir de 12 cm, sur un cercle de 200 m². Les jeunes sujets dès 30 cm de hauteur et jusqu'à un diamètre de 12 cm sont relevés sur un cercle de 3 m de rayon. Ces trois surfaces sont concentriques. Les arbres relevés sont représentatifs de l'ensemble de la forêt.

Compte tenu de ces critères de choix, voici le nombre des données sur lesquelles repose l'inventaire des dégâts de 1989:

Tableau 2:
Nombre des données

Nombre total de placettes dont accessibles et inventoriées	766 700
Nombre d'arbres inventoriés dès 12 cm de diamètre	8304
dont résineux	5335
dont feuillus	2969
Nombre d'arbres par essence	
Epicéa	3512
Sapin	927
Pin	384
Mélèze	376
Autres résineux	136
Hêtre	1541
Erable	273
Frêne	263
Chêne	129
Autres feuillus	763
Nombre de placettes dans les jeunes peuplements Jeunes arbres dès 30 cm de hauteur et jusqu'à 12 cm de diamètre	185 2097
dont résineux	893
dont feuillus	1204

Les résultats de l'échantillonnage sont extrapolés à l'ensemble des forêts en tenant compte des différences de grandeur des placettes, si bien que les estimations globales sont représentatives.

Estimation du taux de défoliation

Le critère principal, et 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, en usage depuis 1986. Il donne des valeurs standard qui aident les taxateurs à estimer les cimes par comparaison.

Cet album concerne six résineux (épicéa, sapin, pin sylvestre, mélèze, arole, pin de montagne) et huit feuillus (hêtre, chêne, frêne, érable sycomore, tilleul, orme, bouleau, châtaignier). Il illustre par quatre images les divers taux de défoliation de chaque essence. Il distingue trois types de ramifications pour l'épicéa (à rameaux pendents, en brosse ou étalés) et deux types de sapin et de mélèze: le type normal et le type montagnard.

Définition des classes de dégâts

Les groupes d'inventaire estiment le taux de défoliation par catégories de 5 pour cent, réunies en cinq classes de dégâts selon le tableau 3. Ces classes sont reconnues internationalement et simplifient la comparabilité des divers inventaires européens des dégâts.

Tableau 3
Désignation des classes de dégâts obtenues
en groupant les catégories de 5 pour cent
des taux de défoliation individuels

Taux de défoliation en pour-cent	Ancienne désignation 1985-1988	Nouvelle désignation dès 1989	Classe
0-10	sans dégâts	sans dégâts	0
11-25	légèrement atteint	légèrement atteint Classe d'alerte	1
26-60	moyennement atteint	moyennement atteint	2
plus de 60	gravement atteint	gravement atteint	3
100	sec	sec	4

Fixation de la limite entre les arbres sains et atteints

Depuis 1983, on pensait que des pertes d'aiguilles ou de feuilles jusqu'à 10 pour cent compris faisaient partie des variations naturelles et on considérait comme atteint un arbre avec un taux de défoliation supérieur.

Or pour garantir la comparabilité internationale des résultats, il importe d'adapter cette limite. La classe de dégâts 1, appelée précédemment «légèrement atteint» sera complétée par la mention «Classe d'alerte»; elle concerne les arbres avec un taux de défoliation de 11 à 25 pour cent. Pour présenter l'ensemble des dégâts, on réunira les classes de dégâts 2 à 4. Pour permettre la comparaison avec les inventaires de 1985 à 1988, on a aussi présenté les proportions des classes de dégâts 1 à 4 en 1989. Remarquons que si les classes de dégâts sont rebaptisées, ni la méthode d'inventaire, ni l'état des forêts ne changent pour autant.

On doit encore étudier à fond où se situe la limite effective entre les arbres sains et atteints en fonction de l'essence et de la station. Le taux de défoliation reste toujours le seul critère applicable pour apprécier l'état de santé des forêts. La relation entre les pertes d'aiguilles ou de feuilles et la santé d'un arbre est évidente dans les deux cas extrêmes: pendant la période de végétation, un feuillage complet est un signe de santé et de vitalité, tandis qu'un arbre nu est mort.

Erreurs aléatoires et systématiques

Les résultats de l'inventaire des dégâts sont affectés d'une erreur aléatoire, systématique, imputable au dispositif choisi; c'est l'erreur d'échantillonnage. Plus les données mesurées sont homogènes et nombreuses (c.-à-d. nombre des placettes et des arbres inventoriés), plus cette erreur diminue. Elle est exprimée à l'aide de l'erreur standard simple, qui indique la précision du calcul des proportions des classes de dégâts. Pour les proportions pondérées des classes de dégâts des résineux et des feuillus, elle varie entre un et deux pour cent. Pour les essences principales, elle dépend beaucoup du nombre d'arbres par classe. Pour les classes 0 et 1 de toutes les essences, elle est de 1 pour cent; elle monte à trois pour cent pour les essences fréquentes, telles que l'épicéa, le sapin et le hêtre des classes 2, 3 et 4; elle atteint quatre pour cent pour des essences plus rares comme le mélèze, le pin, l'érable et le frêne, et même six pour cent pour le chêne. Les proportions des classes de dégâts des régions sont affectées d'une erreur de deux à quatre pour cent. On doit tenir compte de ces erreurs aléatoires en interprétant les résultats.

Des erreurs systématiques influencent également les résultats. Malgré une instruction poussée des taxateurs, des erreurs d'estimation par excès ou par défaut ne sont pas exclues. On a donc soumis systématiquement une placette sur six à un inventaire de contrôle, indépendant du premier relevé et sans connaître les résultats obtenus. Ces contrôles ont porté sur 117 placettes et 1260 arbres.

En moyenne, les estimations du premier relevé dépassent de 1,8 pour cent celles du relevé de contrôle, avec une erreur standard de 9,3 pour cent. La figure 23 illustre les conséquences de cette éventuelle erreur systématique sur le résultat de l'inventaire.

L'inventaire est aussi influencé par la gestion des forêts. On a donc examiné le rôle des exploitations sur les résultats. Les arbres abattus après l'inventaire de 1988 forment le 2 pour cent du total recensé alors. Leur répartition par classe de dégâts ne diffère guère de celle du peuplement restant. Il n'y a donc pas lieu de craindre une erreur systématique due aux interventions sylvicoles.

Pondération des données individuelles

Pour calculer les divers pourcentages tirés de l'ensemble des données, 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 les gros arbres occupent plus de place et ont plus d'importance pour le peuplement et la stabilité de la forêt. La figure 24 montre son influence: le calcul des pourcentages simples non pondérés, où les arbres minces et gros ont le même poids, donne une plus forte proportion d'arbres sains, explicable par la présence d'un grand nombre de sujets jeunes en bonne santé.

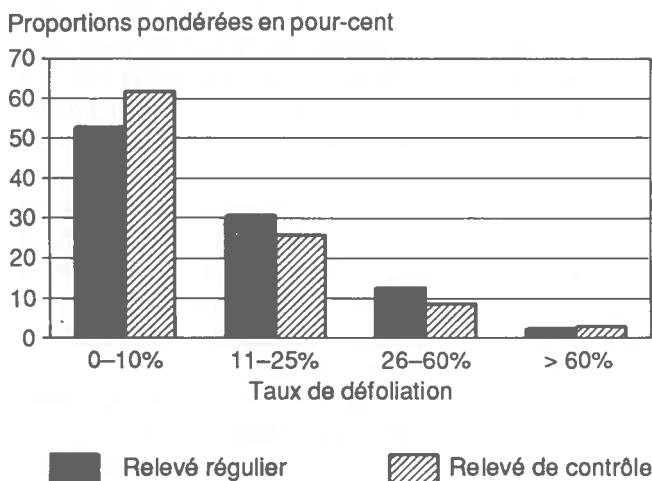


Figure 23
Comparaison du résultat des relevés.

Exécution de l'inventaire

L'inventaire annuel des dégâts est exécuté par la section Inventaire forestier national de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP) à Birmensdorf. Les 700 placettes accessibles, comptant plus de 8000 arbres, furent inventoriées par 5 équipes de deux taxateurs du 3 juillet au 30 août 1989. Les placettes ont en moyenne 12 arbres de plus de 12 cm de diamètre. Chaque arbre-échantillon est identifié si bien que son état peut être suivi. Chaque année on mesure les diamètres à 1,30 m de hauteur.

Les groupes de taxateurs ont reçu une formation spéciale. Ils estiment les pertes d'aiguilles ou de feuilles par catégories de 5 pour cent à l'aide de l'album des photos de cimes, qui leur sert de base de comparaison. Ils inspectent chaque arbre avec des jumelles, dans une direction prescrite, toujours la même.

En plus du taux de défoliation, diverses données supplémentaires sont notées au sujet de la structure du peuplement et des conditions écologiques de la placette. Sont notamment importantes les observations concernant les autres dégâts, attribuables à des causes connues, telles que le bûcheronnage, le gibier, les insectes, les champignons, le vent et la neige.

Proportions en pour-cent

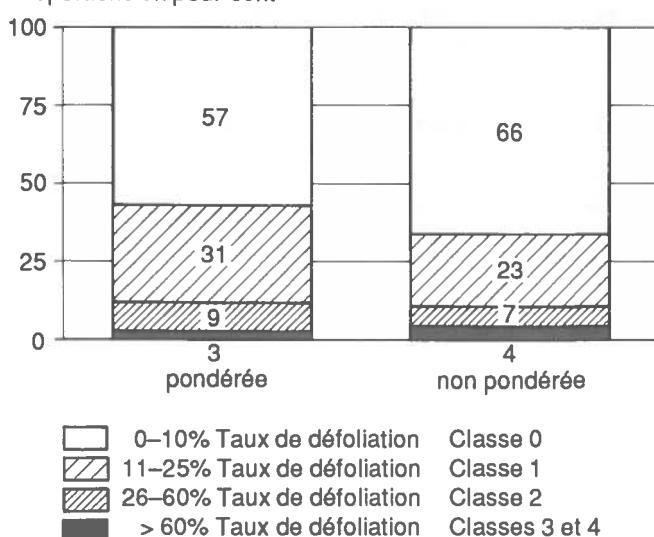


Figure 24
Classes de dégâts en fonction des taux de défoliation.
Influence de la pondération par le carré du diamètre sur les proportions des classes de dégâts.

2. Evolution des dégâts dans les régions tests d'Alt-dorf, de Flims et de Zofingue

Evolution variable de l'état de santé, détectée par la comparaison de vues aériennes infrarouges au 1:3000

La comparaison des vues aériennes d'Alt-dorf, de Flims et de Zofingue en 1989 et en 1988 porte sur plus de 1600 arbres. Elle montre que certains se sont à nouveau détériorés: 2,8 pour cent à Flims, 3,0 pour cent à Alt-dorf et 12,5 pour cent à Zofingue. La majorité (89 pour cent) ne montre pas de changements visibles. On n'a noté aucun cas d'amélioration.

Les résultats de cette année confirment que l'évolution de l'état de santé varie beaucoup d'un endroit à l'autre et qu'elle ne correspond pas forcément à la moyenne nationale.

Méthode d'analyse

Comme les quatre années précédentes, on a apprécié l'état de santé de plus de 1600 arbres à l'aide de vues aériennes infrarouges en couleurs à l'échelle du 1:3000. En comparant les vues de 1989 et de 1988, on a déterminé si chaque arbre était resté le même, s'il avait changé en mal ou en bien, ou s'il avait été abattu entre-temps.

On désigne comme «en moins bon état» les arbres dont la cime est devenue plus transparente ou s'est décolorée encore plus. Dans les vues infrarouges, cette évolution se manifeste d'abord par une altération des couleurs: l'intensité des rouges diminue, celle des gris s'accentue. La cime des résineux paraît la plupart du temps tachetée à marbrée. Plus la défoliation augmente, plus les cimes paraissent transparentes, plus le regard plonge à l'intérieur et mieux il distingue la ramifications des branches.

Par analogie avec les cas d'aggravation, on désigne par amélioration les cas où la texture, la structure ou la couleur de la cime subit un net changement positif.

Evolution différente dans les trois régions tests

A Alt-dorf, l'évolution en dents de scie, amorcée déjà les années précédentes, s'est accentuée. La tendance réjouissante de 1987 à 1988, qui s'était traduite par 5 pour cent d'arbres en meilleur état, s'est renversée: de 1988 à 1989, aucun arbre ne s'est amélioré et 7,5 pour cent ont empiré.

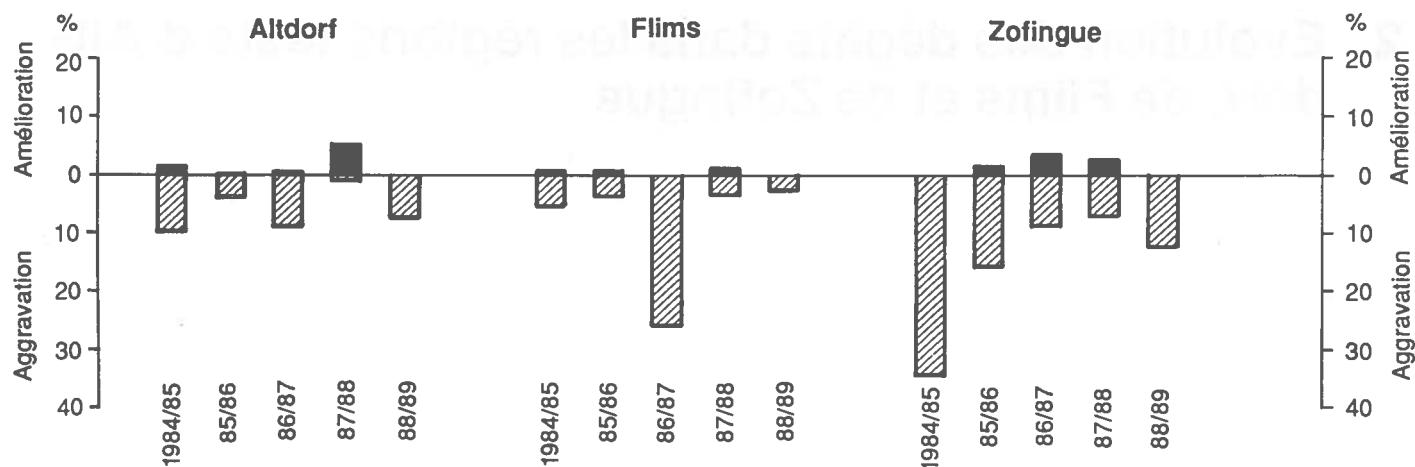
Il n'y a pratiquement pas eu d'exploitations forestières.

A Flims, l'évolution des dégâts est plus régulière. Excepté la grave détérioration en 1986/87, due en partie à la tempête du 1er juillet 1987, on a enregistré une lente et constante aggravation de 3 à 5 pour cent par an. Cette année aussi, 3 pour cent en chiffres ronds des arbres se sont révélés en moins bon état que l'année précédente. Contrairement aux années 1986 et 1988 où l'on a noté quelques cas d'amélioration, les vues aériennes de 1989 n'en montrent aucun.

Pendant l'année écoulée, on a abattu plus de 4 pour cent des arbres étudiés, dont trois quarts comme chablis, d'après le service forestier, local. C'était des

Comparaison des vues aériennes de 1988 et de 1989

Région	Nombre d'arbres examinés			Nombre d'arbres abattus			Evolution en pour-cent (sans arbres abattus)								
							Amélioration			sans changement			Aggravation		
	Feuillus	Résineux	Total	Feuillus	Résineux	Total	Feuillus	Résineux	Total	Feuillus	Résineux	Total	Feuillus	Résineux	Total
Alt-dorf	300	228	528	—	1	1	—	—	95	89	92	5	11	8	
Flims	478	32	510	23	—	23	—	—	92	100	93	3	0	3	
Zofingue	191	427	618	10	17	27	—	—	90	80	83	5	16	13	



Evolution des dommages dans les forêts près d'Altdorf, de Flims et de Zofingue.

Proportion des arbres dont l'état s'est amélioré ou aggravé de 1988 à 1989 d'après la comparaison des vues aériennes. Sur les trois stations, on n'a enregistré depuis 1989 que des cas d'aggravation mais aucun d'amélioration. La grande diversité de l'évolution est frappante.

sujets en très mauvais état, qui se détérioraient à vue d'oeil et qui devaient être enlevés. Ils ne sont pas compris dans les 3 pour cent de cas d'aggravation, ce qui embellit le résultat.

D'après les vues aériennes du **Steinbruchwald de Zofingue**, aucun arbre ne s'est amélioré tandis que 12,5 pour cent se sont détériorés.

L'évolution depuis 1984 suit une courbe. A la fin de la première année (1984/85), on a trouvé 34 pour cent des arbres en moins bon état. Les années suivantes, cette proportion a baissé constamment jusqu'en 1987/88 où elle s'est réduite à 7 pour cent et où l'on a

même enregistré 2,5 pour cent de cas d'amélioration. En 1989, les cas d'aggravation ont à nouveau subi une augmentation relativement forte.

Cette année, le service forestier de Zofingue a remarqué des «symptômes d'automne» déjà en août (coloration et chute des feuilles). Les exploitations constatées furent exécutées dans le cadre d'une éclaircie normale et de l'agrandissement de certaines surfaces de recrûs.

Dans les trois régions tests, les résultats de l'interprétation des vues aériennes correspondent largement aux observations des inspecteurs et gardes forestiers.

3. Inventaires des dégâts aux forêts de 1988 en Europe

25 pays européens ont annoncé des dégâts aux forêts en 1988

De 1987 à 1988, le nombre de pays européens qui réalisent un inventaire des dégâts aux forêts a passé de 22 à 25. Les résultats des observations et des recherches sont publiés dans un rapport de synthèse dans le cadre de la Commission Economique pour l'Europe de l'ONU (ECE). La totalité des pays participants indique des dégâts aux forêts exprimés par des pertes ou des colorations de feuillage.

Un réseau européen de 53'000 placettes d'observation

25 pays d'Europe de l'Ouest et de l'Est ont mené en 1988 des inventaires des dégâts aux forêts. 21 les ont réalisés à l'échelle nationale, 4 à l'échelle régionale (voir la carte «Résultats 1988 des inventaires des dégâts aux forêts en Europe»). La Suisse est intégrée dans le réseau européen par les 766 placettes de l'inventaire Sanasilva.

La plus grande partie des forêts des pays et régions participants est soumise aux observations systématiques, soit 65% des 161 millions d'hectares (environ 150 fois la surface des forêts suisses). Les observations non systématiques touchent surtout les forêts de feuillus en Scandinavie et les zones de maquis méditerranéens. Au total, on a observé l'état de santé de 990'000 arbres, répartis sur quelque 53'000 placettes. La Grèce, la Norvège, la Pologne et le Portugal ont réalisé pour la première fois un inventaire à l'échelle nationale. En URSS, les inventaires d'Estonie s'ajoutent à ceux de la Lituanie.

Harmonisation des méthodes d'observation

Un groupe de travail ECE a été spécialement créé en 1985 afin de mettre sur pied une base d'observation commune aux différents pays européens. Un manuel de recommandations a été établi (voir encadré «Recommandations ECE pour l'observation des pertes de feuillage»). Chaque année, les centres de coordination de Hambourg et de Prague organisent des cours pour harmoniser les observations des couronnes. En 1988, 3 rencontres internationales ont eu lieu en Autriche, Italie et Tchécoslovaquie pour les pays d'Europe centrale, de la région méditerranéenne et de l'est. Le choix de ces différents lieux permet de tenir compte de la variabilité naturelle des forêts européennes.

Malgré les bases d'observations semblables, les comparaisons directes des résultats d'inventaire entre pays restent délicates. Une des raisons qui incitent à la prudence est la diversité extrême des conditions naturelles en Europe ainsi que la forte variabilité des influences de l'homme. L'état de santé d'un mélèze en Suisse à 2000 mètres d'altitude, celui d'un chêne-liège dans le maquis portugais ou d'un épicéa au bord de la Baltique, est déterminé par des conditions naturelles et des influences humaines bien différentes (par exemple climat, sol, exploitation épuisant l'écosystème, pollution de l'air et du sol, feu, gibier). De plus, l'observation des couronnes de certaines essences, par exemple le pin, reste difficile. Enfin, le nombre de placettes d'observation a fortement augmenté dans certains pays, ce qui peut avoir une influence sur les résultats. Une base commune est offerte par le guide «Sanasilva - Couronnes d'arbres», brochure largement utilisée en Europe, particulièrement appréciée comme référence là où la gravité des dégâts est telle qu'il est devenu difficile ou impossible de trouver «l'arbre normal».

Malgré les améliorations de méthode encore possibles, les inventaires jouent bien leur rôle de surveillance des écosystèmes forestiers. Le plus important est que la continuité des observations reste assurée année après année, comme elle le fut jusqu'à présent.

Résultats des inventaires 1988 en Europe

Les résultats des 25 pays ayant réalisé des inventaires en 1989 sont présentés sur la carte «Inventaire 1988 des dégâts aux forêts en Europe». On y a regroupé les classes de défoliation 1 à 4 (pertes de feuillage légères, moyennes et fortes, ainsi que les arbres secs). Dans le regroupement des classes de dégâts 2 à 4, la classe des arbres légèrement atteints (classe 1, souvent appelée classe d'alerte), n'est pas comprise.

La totalité des pays qui mènent un inventaire des dégâts aux forêts indique un certain pourcentage d'arbres atteints, les critères retenus sur le plan international

étant la perte et la coloration du feuillage. Si l'on excepte le chêne, peu de changements spectaculaires sont intervenus depuis 1987. Comme les années précédentes, l'intensité de la défoliation et ses changements annuels varient de pays à pays. Au total, on n'observe pas moins de 25 espèces de conifères et 34 espèces de feuillus. Pour des raisons de place, seule une petite partie des résultats d'observation sont présentées ici.

D'une façon générale, l'état de santé de l'épicéa s'est légèrement amélioré. On observe cependant les dégradations connues de l'état de santé en fonction de l'âge des arbres. Au-dessus de 60 ans, plus de 15 pour cent des épicéas indiquent une transparence moyenne à forte dans 10 des 18 pays concernés. Les plus fortes défoliations sont rapportées en Finlande, Norvège, Luxembourg, Allemagne de l'Ouest, Suède et Tchécoslovaquie.

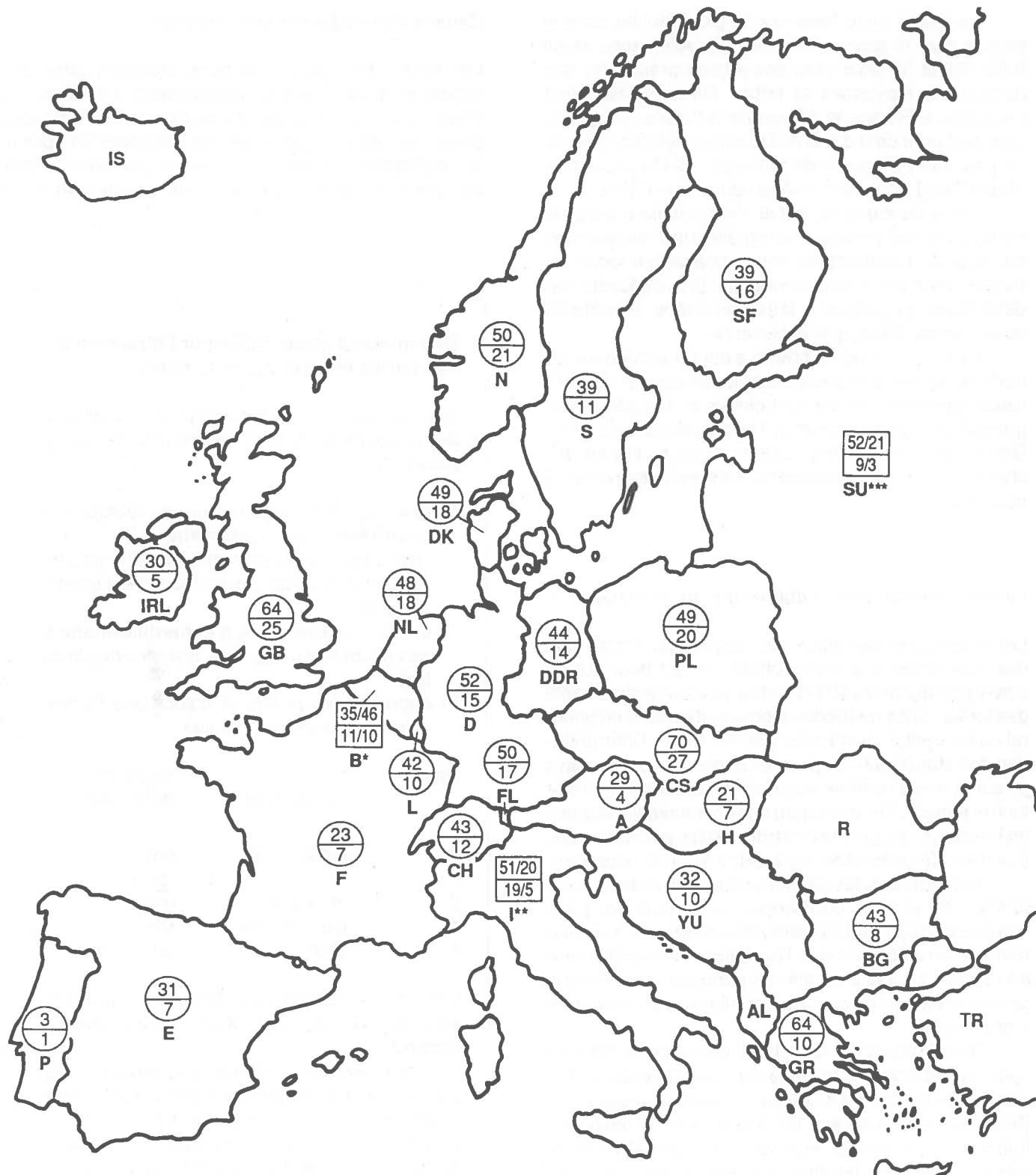
L'état de santé du pin s'est amélioré dans certains pays, détérioré dans d'autres. Les plus fortes transparences sont localisées en Tchécoslovaquie, Italie (Toscane), Norvège, Pologne et Suisse.

Inventaires des dégâts aux forêts en 1987 et 1988 en Europe

Ampleur et évolution des dégâts en 1987 et 1988 des résineux et des feuillus, présentées pour les classes des dégâts 1 à 4 (classe «légèrement atteint» ou «classe d'alerte» incluse) et 2 à 4 (uniquement les classes de dégâts «moyennement atteint» et «fortement atteint ou sec»)

Pays	Résineux									Feuillus								
	Classes de défoliation 1-4			Classes de défoliation 2-4			Corres-pond. classes 1-4/ 2-4*	Classes de défoliation 1-4			Classes de défoliation 2-4			Corres-pond. classes 1-4/ 2-4*				
	1987	1988	Evo-lution %	1987	1988	Evo-lution %		1987	1988	Evo-lution %	1987	1988	Evo-lution %					
Autriche	33	28	-5	3	3	≤1	0	53	48	-5	8	8	≤1	0				
Belgique (Fl.)								46	46	≤1	16	10	-6	0				
Bulgarie	18	46	+28	4	8	+4	+	18	38	+20	3	9	+6	+				
Danemark	46	35	-11	24	21	-3	+	81	70	-9	20	14	-6	+				
Espagne	32	29	-3	11	7	-4	+	42	34	-8	14	7	-7	+				
Finlande	-	39	-	13	17	+4		-	32	-	5	8	+3					
France	35	27	-8	12	9	-3	+	21	20	≤1	6	5	≤1	0				
Grande-Bretagne	57	59	+2	23	20	-3	-	55	67	+12	20	27	+7	+				
Italie (Bolzano)	-	20	-	3	5	+2		-	11	-	4	3	≤1					
Liechtenstein	60	58	-2	22	23	≤1	0	40	32	-8	10	5	-5	+				
Luxembourg	20	32	+12	4	11	+7	+	43	49	+6	10	12	+2	+				
Pays-Bas	53	39	-14	19	14	-5	+	67	63	-4	26	25	≤1	0				
Rép. féd. d'Allemagne	49	49	≤1	16	14	-2	0	60	59	≤1	19	16	-3	0				
Suède	32	44	+12	6	12	+6	+											
Suisse	55	48	-7	14	15	≤1	0	57	33	-24	15	7	-8	+				
Tchécoslovaquie	52	71	+19	16	27	+11	+											
URSS (Lituanie)	-	25	-	15	3	-12												
Yougoslavie	49	46	-3	16	17	≤1	0	26	10	-16	7	10	+3	-				

- +: l'évolution des classes 1 à 4 et 2 à 4 va dans le même sens
- : l'évolution des classes 1 à 4 et 2 à 4 est contraire
- 0: évolution ≤1%. On a renoncé à une comparaison pas d'indication: les données d'une année manquent



Inventaires nationaux

56/15 Proportion d'arbres atteints dans les classes de dégâts 1 à 4 (%)
 Proportion d'arbres atteints dans les classes de dégâts 2 à 4 (%)

Inventaires régionaux

32/10 Proportion d'arbres atteints dans les classes de dégâts 1 à 4 (%)
 Proportion d'arbres atteints dans les classes de dégâts 2 à 4 (%)

* B: Wallonie/Flandres ** I: Toscane/Bolzano ***SU: Estonie/Lituanie

Résultats 1988 des inventaires des dégâts aux forêts en Europe.

Proportion de classes 1 à 4 (classe «légèrement atteint» incluse) et 2 à 4 (uniquement les classes «moyennement atteint» et «fortement atteint ou sec»), toutes essences (exceptions: seulement conifères en Irlande et en Norvège).

Le sapin reste l'essence la plus atteinte dans la plupart des 10 pays concernés. En Allemagne et en Italie, 64 et 39 pour cent des sapins présentent des défoliations moyennes et fortes. Dans 6 pays, dont l'Autriche, la France, la Pologne et la Suisse, on compte plus de 3 pour cent d'arbres fortement défoliés (plus de 60 pour cent de perte de feuillage). Cette proportion atteint 7 et 8 pour cent en Allemagne et en Italie.

L'état de santé du hêtre s'est amélioré dans de nombreux pays, probablement grâce à la diminution des attaques de l'orcheste du hêtre, insecte qui ronge les feuilles. Plus de 50 pour cent des hêtres indiquent des défoliations moyennes à fortes en Grèce, plus de 20 pour cent en Allemagne et Hollande.

L'état de santé du chêne s'est dégradé dans de nombreux pays. Les pourcentages des classes de défoliation moyenne et forte sont élevés en Grande-Bretagne (63%), Pays-Bas (49%), Tchécoslovaquie (40%), Grèce (40%, chêne vert). Dans ces pays, la part des chênes fortement défoliés est aussi élevée: entre 7 et 12 pour cent.

La limite exacte entre l'état «sain» et «malade»

Les inventaires nationaux des dégâts aux forêts sont des inventaires à grande échelle. Ils ont pour but de suivre globalement l'état et surtout l'évolution de la santé des forêts. Si les méthodes d'observation sont en général comparables (recommandations ECE), l'interprétation des statistiques peut varier quelque peu d'un pays à l'autre, selon l'endroit supposé de la limite entre l'état sain et malade. Dans le cadre des inventaires nationaux en Europe, on place une limite de dégâts, selon les pays, à un taux de défoliation supérieur à 10 à 25 pour cent.

A la lecture du tableau «Inventaires des dégâts aux forêts 1987 et 1988 en Europe», qui groupe les pays européens disposant d'inventaires consécutifs sur cette période, on s'aperçoit que l'évolution des dégâts entre les classes 1 à 4 et 2 à 4 est comparable (les évolutions sont ici considérées comme identifiables au-dessus de 1 pour cent).

Dans huit cas sur neuf, la détérioration de l'état de santé des résineux s'exprime autant par l'évolution des classes de dégâts 1 à 4 que par celle des classes 2 à 4. Dans un cas seulement, le changement de limite entraîne une inversion du sens de l'évolution. Mêmes remarques pour les feuillus. Le changement de limite entre «sain» et «malade» (colonne «évolution 1-4 resp. 2-4») n'a d'influence que dans un cas sur neuf. On constate partout ailleurs les mêmes tendances à l'amélioration ou à la détérioration.

Ces considérations permettent pour le moins de relativiser l'importance de la discussion sur la limite exacte entre la densité du feuillage d'arbres «sains» et «malades». Le fait de prendre ou non en considération la classe 1 «légèrement atteint» ou «classe d'alerte» ne semble guère influencer les conclusions sur l'évolution de l'état de santé des forêts européennes. Ce constat avait été déjà fait au vu de l'évolution 1986 à 1987 (voir Rapport Sanasilva des dégâts aux forêts 1988).

Causes des dégâts et conclusions

Les forêts des pays européens croissent dans des conditions écologiques des plus diverses. L'influence de l'homme aussi, à travers divers types de dommages directs ou indirects (par exemple: méthodes d'exploitation inadaptées, feux de forêt, gibier ou pollution de l'air), prend des proportions très variables selon les pays. Les

Recommandations ECE pour l'observation des pertes et colorations foliaires

3 recommandations de base pour l'observation des pertes et colorations foliaires ont été émises par l'ECE:

- 1) faire les observations sur un réseau d'échantillonnage systématique 1x1 km à 16x16 km², ce qui correspond à une placette d'observation pour une surface forestière de 1 à 256 km².
- 2) utiliser des placettes d'échantillonnage fixes (placettes uniques ou grappes de placettes)
- 3) apprécier les pertes et colorations foliaires selon les classes suivantes:

classe	perte de feuillage	degré de défoliation
0	jusqu'à 10%	nul
1	11 à 25%	léger
2	26 à 60%	moyen
3	plus de 60%	fort
4	100%	arbre sec

Les colorations sont classifiées selon le même système, la classe 4 étant incluse dans la classe 3.

Les pays qui le désirent peuvent créer des classes combinées entre les pertes de feuillage et les colorations. Les classifications ci-dessus sont basées sur une convention plausible du point de vue scientifique. La définition de la classe 0 (défoliation nulle) peut varier de pays à pays, la classe 1 pouvant être aussi considérée comme «classe d'alerte».

Pour améliorer l'interprétation des résultats, ECE et CE (Communauté européenne) encouragent les pays participants à présenter en plus les résultats par catégorie de défoliation de 10 pour cent. De cette façon, l'observation de l'évolution d'une année à l'autre et à l'intérieur des classes, par exemple la classe 2 (26 à 60 pour cent de défoliation) vont de 5 en 5 pour cent, ce qui permet aussi une analyse précise.

inventaires des dégâts à eux seuls ne permettent pas de conclure définitivement quant aux causes de ces dégâts, car l'observation est trop extensive et la diversité des influences subies trop prononcées pour tenter l'analyse à partir de ces seules données. Par contre, sur la base de ces inventaires et en combinaison avec d'autres travaux de recherches, la plupart des pays d'Europe centrale admettent que l'actuelle déstabilisation de l'écosystème forestier ne peut s'expliquer sans l'influence de la pollution de l'air.

Les scientifiques de tous pays relèvent d'autre part que le dépèrissement des forêts est accompagné d'autres indicateurs de l'état général de l'environnement. Des phénomènes tels l'augmentation de la concentration du gaz carbonique (CO_2) et de la température de l'atmosphère, la destruction de la couche d'ozone, la mise en danger des réserves d'eau potable et les effets de la pollution sur la santé humaine sont autant d'arguments contraignant à prendre des mesures rapides et importantes pour diminuer la pollution de l'air.

