

LES DEGATS FORESTIERS EN VALAIS ¹

par H. Flühler ², Th. Keller ² et H.U. Scherrer ²
traduit par J.-B. Chappuis ³

1. Introduction

Depuis l'automne 1976, avec l'appui financier de l'Etat du Valais et du Fonds de la forêt et du bois, l'Institut fédéral de recherches forestières (IFRF) a pris l'initiative de recherches sur les dégâts forestiers en Valais. Le présent article récapitule les objectifs, les hypothèses de travail et les méthodes du projet et donne à l'aide des résultats déjà obtenus un premier aperçu des réponses à en attendre.

2. Buts de l'étude

Pourquoi, dans quelle mesure et sur quelle étendue des arbres, surtout des pins sylvestres (*Pinus silvestris* L.), sèchent-ils çà et là sur une surface forestière de 136 km² dans la plaine du Rhône entre Martigny et Brigue ? Les dégâts actuels, en visible progression, modifieront-ils irréversiblement la forêt et le paysage qu'elle meuble ? Pourra-t-on les maîtriser et revenir à l'état ancien ? Bref, il s'agit d'apprécier la *résistance des forêts* aux influences du milieu environnant et l'étude poursuivra les objectifs partiels suivants :

a) Inventaire de l'état actuel

La connaissance de la nature, de l'ampleur et de la localisation des dégâts est un préalable important pour une enquête sur le sujet. Elle

¹ Manuscrit reçu le 3 décembre 1979.

² Institut fédéral de recherches forestières, 8903 Birmensdorf.

³ Ingénieur forestier, Le Sentier.

soutient et facilite le Service forestier, fournit une partie des éléments nécessaires à l'estimation de la perte de rendement. Elle servira de référence lors d'un inventaire ultérieur, destiné à prouver une amélioration ou une dégradation par rapport à la situation actuelle. Elle aide enfin à organiser les projets de recherches.

b) Etudes des facteurs nocifs

Plusieurs facteurs concourent probablement au dépérissement de la forêt. Quels sont-ils et comment agissent-ils ? Le chapitre 3 énumère les hypothèses de travail à leur sujet.

c) Pronostics sur l'évolution future des dégâts

Ils se baseront sur une extrapolation des constatations faites lors de l'étude des deux points précédents.

d) Etude des remèdes

La connaissance de l'état actuel, des causes et de l'évolution probable des dégâts contribuera à inspirer aux responsables une thérapeutique forestière adéquate.

3. Hypothèse de travail sur la nature des facteurs nuisibles

Voici la liste des différents facteurs soupçonnés d'être responsables de l'accumulation des dégâts observés dans cette région.

Facteurs naturels limitants

En Valais, les forêts de la plaine du Rhône et du pied des versants se trouvent à une limite écologique à cause de l'extrême sécheresse de leurs stations. Le climat local se caractérise en effet par de faibles précipitations, un niveau moyen de l'humidité atmosphérique très bas, la répétition et la longue durée des périodes sans pluie, l'insolation et les températures estivales élevées, une grande fréquence des vents, et enfin la faible capacité de rétention d'eau des sols superficiels. Tous ces facteurs constituent un handicap physiologique pour les végétaux dans les années particulièrement sèches.

Pollution de l'air

Les conditions topographiques font de la vallée du Rhône un espace météorologique fermé, exposé aux atteintes nuisibles. La fréquence et la

stabilité des situations d'inversion thermique limitent le volume d'air disponible pour la dilution des émanations polluantes. Celles-ci sont probablement plus variées qu'on ne le supposait et leurs effets se renforcent par synergie.

Mode d'exploitation des forêts

Les chablis séjournent plus longtemps dans ces peuplements trop pauvres pour être encore exploités et entretenus régulièrement. L'absence de soins entraîne des effets secondaires négatifs.

Vieillesse et sénilité précoce

Certaines pinèdes vétustes se délabrent et le changement de génération s'amorce maintenant. Une partie de ces forêts très endommagées occupe d'anciens sols agricoles.

Domages à long terme

Les dégâts aux forêts progressent à une allure très variable. Sur les feuilles et les aiguilles, ils apparaissent souvent au cours d'une seule période de végétation, tandis que dans le sol il leur faut, dans de nombreux cas, des années ou des décennies pour se manifester. Ils entraînent alors des lésions indirectes des végétaux. La forêt toujours plus disloquée se remplit de buissons et se transforme en steppe avec risque accru d'incendies.

4. Structures du projet de recherches

Le projet de recherches comprend les subdivisions suivantes :

- a) Extension et localisation des dégâts forestiers.
- b) Ampleur des atteintes subies dans les forêts du périmètre étudié.
- c) Etude des effets polluants.
- d) Influence de la sécheresse sur la croissance des arbres.
- e) Effets à long terme des polluants sur le sol et la végétation.
- f) Evolution de l'utilisation des sols et modifications à long terme de l'aire et du paysage forestiers.

5. Méthodes de travail

Voici les méthodes de travail utilisées.

a) *Interprétation de vues aériennes*

On a utilisé deux types de vues aériennes: des photos en couleur à l'infrarouge à l'échelle du 1 : 2000 au 1 : 44 000 pour localiser les dégâts, et des photos en noir et blanc, anciennes et récentes, du Service topographique fédéral, pour étudier les changements lents de l'aire et de la structure des forêts.

b) *Analyses de végétaux*

On a déterminé les teneurs en fluor, soufre et chlore d'aiguilles de pins pour apprécier l'ampleur des atteintes subies et en cartographier l'extension.

Pour démontrer *l'effet des polluants*, on a étudié certaines réactions physiologiques par des essais sur des plantes d'origine génétique uniforme (clones greffés).

c) *Placettes d'essai*

On a tenté une étude sélective des effets des deux facteurs «sécheresse et polluants atmosphériques» sur des plants obtenus par greffage de clones et sur des semis de pins, mélèzes, frênes et trembles. Dans quatre placettes d'essais situées à Viège, Sierre, Saxon et Sembracher, une moitié des sujets a été arrosée et l'autre pas. On a pu observer ainsi l'évolution des dégâts en fonction du régime hydrique. Celui-ci a été caractérisé au moyen de la bombe de Scholander (SCHOLANDER et al. 1965) grâce à laquelle on mesure dans les tissus végétaux le degré de rétention d'eau (potentiel d'eau).

d) *Essais en serres*

Dans des serres, ouvertes et fermées, on a soumis des plants en pot obtenus par greffage de clones, à l'air ambiant ou à l'air exempt de fluor purifié par des filtres à poussières et à charbon actif. Le régime hydrique étant partout identique, on a pu étudier ainsi l'effet de la qualité de l'air.

e) *Analyse de cernes*

L'analyse de carottes de sondage prélevées à la tarière dans des troncs nous a renseigné sur l'évolution historique des dégâts.

Une série de carottes a été radiographiée pour détecter la variation de la densité des différents cernes annuels et à l'intérieur des cernes eux-mêmes (LENZ et al. 1976). On espère pouvoir distinguer les effets de la sécheresse de ceux des polluants grâce à ces densitogrammes.

f) *Analyses des sols*

On ignore encore largement les effets des polluants atmosphériques sur le sol. Aussi a-t-on étudié dans la région des émissions, par des essais en laboratoire et *in situ* les effets à long terme sur les sols d'un apport continu pendant des décennies, de combinaisons fluorées dans la région des sources.

6. Valeur et limites des recherches sur les dégâts forestiers

Les dégâts forestiers se manifestent à tous les échelons de la hiérarchie biologique: les peuplements et les arbres secs se voient de loin et même sur les vues aériennes; les lésions proprement dites des feuilles et des aiguilles ne s'observent cependant qu'au prix d'un examen attentif des structures microscopiques au niveau cellulaire ou même subcellulaire. Quelle disproportion entre cette échelle d'observation et l'immensité du périmètre étudié ! L'analyse n'englobera pas tous les aspects des dégâts; elle s'effectuera à plusieurs niveaux et constituera un édifice bâti avec différents matériaux. Dans le meilleur des cas, à côté de preuves étayées par l'expérimentation, elle ne fournira souvent que des explications, des conjectures ou des extrapolations spéculatives. Les méthodes rigoureusement scientifiques applicables à certains problèmes et points particuliers ne conviennent plus à une vue d'ensemble. Une recherche appliquée de ce type soulève en général plus de problèmes qu'elle n'en résout, mais elle incite toutes les parties concernées à se documenter toujours davantage. Elle confirme aussi la fragilité et le peu de tolérance d'un paysage face aux pollutions atmosphériques.

7. Nature, ampleur et localisation des dégâts forestiers

a) *Aspect et nature des dégâts*

Au sein d'une espèce, la réaction aux influences nocives varie beaucoup: des individus vigoureux et sains côtoient des exemplaires endommagés et dépérissants, dispersés en général par pieds isolés dans tout le

peuplement. L'hérédité explique en partie cette résistance inégale. Le pin sylvestre est l'essence la plus touchée.

L'examen des feuilles et des aiguilles ne suffit pas à lui seul à un diagnostic sûr des dégâts dus au fluor. Dans les environs immédiats de la fonderie d'aluminium de Chippis, on observe au bord des feuilles ou à la pointe des aiguilles des nécroses séparées du tissu vivant par une bande brun foncé. Ces symptômes sont l'indice typique d'une influence nocive du fluor, mais on les rencontre aussi sous l'influence d'autres facteurs.

Les dégâts forestiers se manifestent aussi dans la structure des cernes annuels. Des carottes prélevées dans les arbres des pineraies de «la Vouarda» entre Saxon et Sapinhaut montrent que l'action nocive s'est déjà exercée pendant des décennies avant la mort de l'arbre (KIENAST et al.) sous la forme d'un net ralentissement de l'accroissement observé sur 82 % des arbres sondés. Avant les phénomènes de dépérissement, les cernes des années humides étaient larges et ceux des années sèches étroits; après, il n'y en a plus que de très étroits.

Dans 64 placettes de la Forêt de Finges 1220 pins ont été classés selon divers critères de vitalité (OESTER et al.), tels que proportion des parties sèches de la couronne, état et distribution des aiguilles, gravité des attaques de gui. Ces placettes se situent le long de cinq lignes et ont servi avant tout à étalonner les vues prises d'hélicoptère. Malgré leur répartition inégale dans le périmètre, elles révèlent certains aspects des dégâts.

La figure 1 représente la distribution des arbres de ces échantillons selon leur diamètre à hauteur de poitrine et les pourcentages des trois degrés de vitalité par catégories de diamètre, calculés séparément pour les trois secteurs de la forêt. Le cône de déjection de l'Ilgraben (Oberer Pfywald) est occupé surtout par de jeunes pinèdes d'âge uniforme très faiblement ou absolument pas éclaircies. A part quelques baliveaux isolés secs, on ne note des dommages aigus que dans les petits diamètres; c'est un indice de la très forte concurrence entre les couronnes. Dans la partie inférieure de la Forêt de Finges, aux arbres en moyenne moins serrés, au couvert plus faible et aux couronnes plus étagées, les arbres dépérissants sont plus nombreux. Les dégâts sont les plus marqués, au Rottensand, région inondée chaque année avant l'endiguement du Rhône (1963-1965) sauf pour les jeunes pins qui sont moins touchés. La modification du régime des eaux explique certainement l'augmentation des chablis.

Cette évaluation précise de la vitalité des pins ne peut pas être extrapolée sans autre à l'ensemble de la Forêt de Finges, mais elle pourra

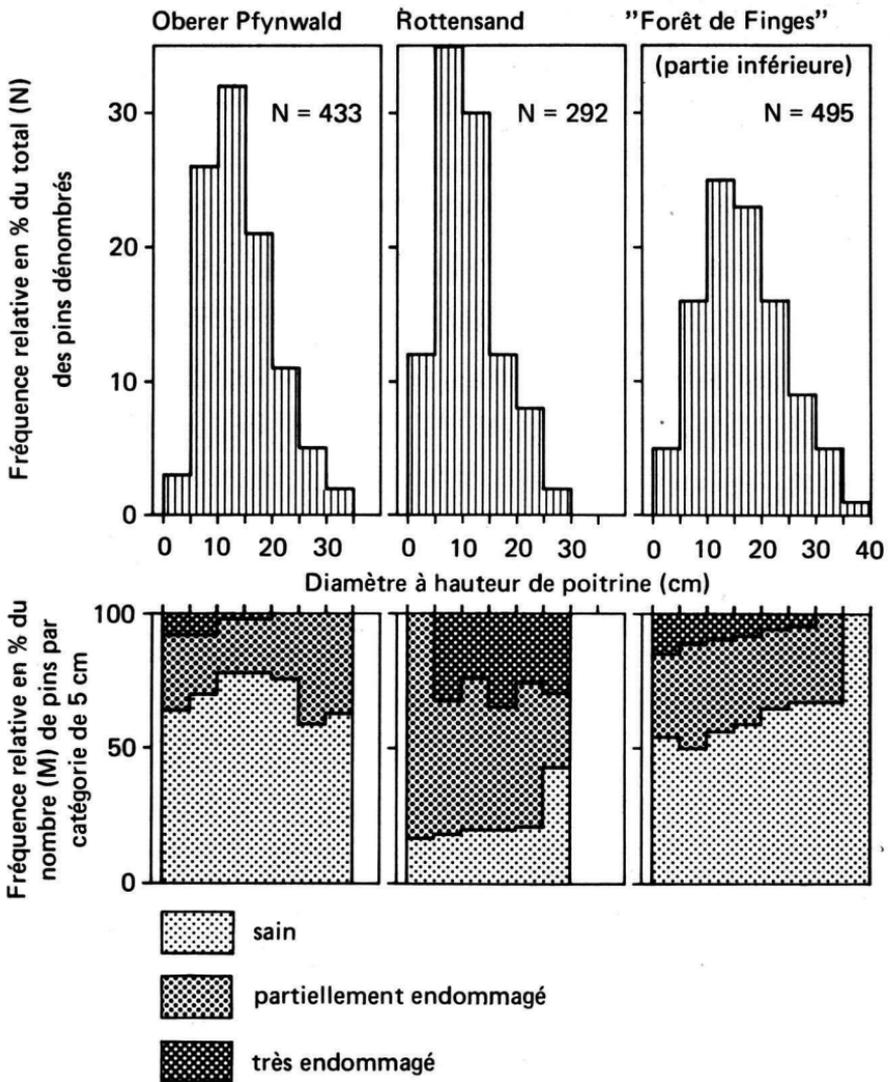


Fig. 1. Echantillonnage de 1977 dans la Forêt de Finges.
 En haut: Répartition centésimale des pins dénombrés, en fonction du diamètre du tronc.
 En bas: Pourcentage des pins sains, partiellement endommagés et très endommagés (100 % = nombre de pins par catégorie de 5 cm).
 Dans presque toutes les catégories de diamètre, plus d'un cinquième (> 22 %) des pins sont partiellement ou très endommagés.

servir à un deuxième inventaire destiné à suivre l'évolution de la vitalité et des dégâts.

Autre aspect frappant, mais souvent négligé des dommages, le couvert des peuplements s'éclaircit peu à peu en une évolution très lente et très discrète qui aboutit à la conséquence la plus dangereuse des dégâts forestiers en Valais: les herbes et les buissons se propagent partout et les incendies, l'ultime et la plus funeste forme des dégâts de la sécheresse et de la pollution, se multiplient. Le déboisement par le feu de ces forêts dégradées est souvent irréversible. KÖLBL (1978) a montré par l'étude comparée des vues aériennes qu'une partie des pinèdes de la Forêt de Finges s'est beaucoup éclaircie entre 1959 et 1974, spécialement celles tournées vers l'aval, poussant sur des stations de forte insolation, soumises à des vents forts et fréquents et exposées de plein fouet aux émanations fluorées.

b) Localisation des dégâts

Dans les régions de Viège et de Charrat/Saxon, nous avons cartographié les dommages à l'aide de vues aériennes en couleur à l'infrarouge. Les vues de Viège (au 1 : 20 000) ont été prises le 2 septembre 1977, celles de Charrat/Saxon (au 1 : 13 000) le 18 août 1978. A Viège, sur une surface de 266 ha, 31 % des pineraies sont fortement atteintes, 38 % le sont moyennement et 31 % légèrement.

Dans les pinèdes fortement endommagées, plus du quart des arbres sont atteints, entre un vingtième et un quart dans celles moyennement touchées, moins de un vingtième lorsqu'elles sont légèrement influencées. Les zones les plus touchées se rencontrent au pied de la montagne et le taux des dégâts diminue avec l'augmentation de la proportion des feuillus.

La carte des dégâts de Charrat/Saxon couvre 195 ha. Sur 41 ha, plus de 40 % des pins sont secs ou débiles (figure 2a), sur 39 ha, entre 20 et 40 %, et sur 39 autres ha, en dessous de 20 %, tandis que les 76 ha en grande partie intacts contiennent peu ou pas de pins. En moyenne un pin sur cinq périlite. Les dommages les plus grands se répartissent dans une bande située entre 250 à 400 mètres au-dessus du fond de la vallée, spécialement sur les sols pauvres, les crêtes, les versants raides, dans les peuplements riches en pins et de faible fertilité. La mortalité est visiblement plus grande dans les peuplements âgés que dans les peuplements jeunes ou étagés. Autrement dit, la plupart des pins débiles sont des vieillards (figure 2b). D'après les décomptes de cernes ces pineraies sont âgées de 100 à 140 ans.

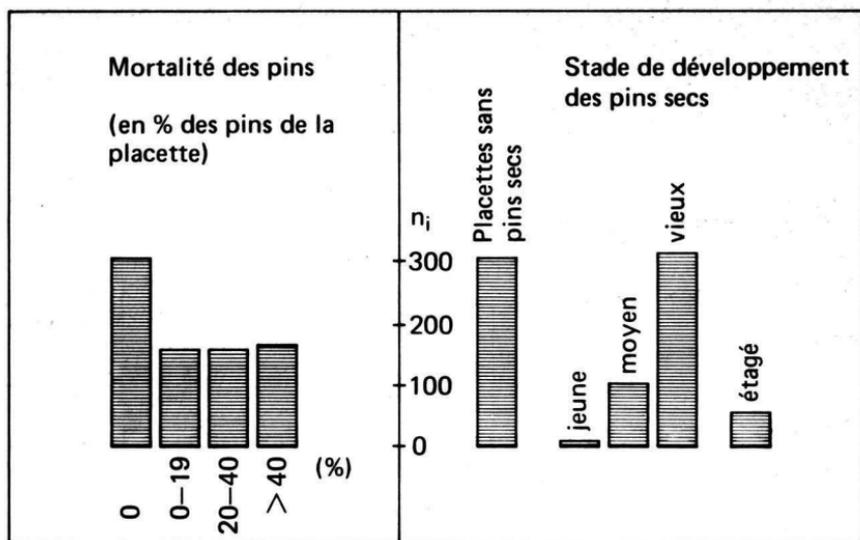


Fig. 2.a Distribution des placettes en fonction de la mortalité moyenne (à gauche) 2.b et du stade de développement des pins secs. (à droite). Base: 781 placettes de la carte des dégâts Charrat/Saxon (n_i = nombre des placettes).

8. Facteurs nocifs

a) Influence de la sécheresse

Entre Martigny et Brigue, les précipitations sont en général plus rares et moins abondantes qu'ailleurs en Suisse. Les forêts proches du fond de la vallée souffrent périodiquement du sec. Les conditions hydrologiques dans lesquelles croissent ces pineraies et ces chênaies sont les plus extrêmes de l'aire forestière suisse. L'influence dominante de l'eau se manifeste très nettement dans l'aspect des cernes. Leur largeur, et tout spécialement la densité du bois d'automne réagissent vivement aux années sèches (SCHWEINGRUBER et al. 1979), comme le confirment les densitogrammes radiographiques des carottes de pins, d'épicéas et de mélèzes (LENZ et al. 1976). La figure 3 illustre l'influence dominante du facteur eau dans la région: les courbes des moyennes quinquennales des densités maximales du bois d'automne et celle des précipitations annuelles correspondent pratiquement pour les trois essences, quelles que soient la station et l'exposition.

Dans un autre travail, KIENAST et al. ont démontré que, dans les années sèches, le nombre d'arbres qui meurent est plus élevé que pendant les années humides.

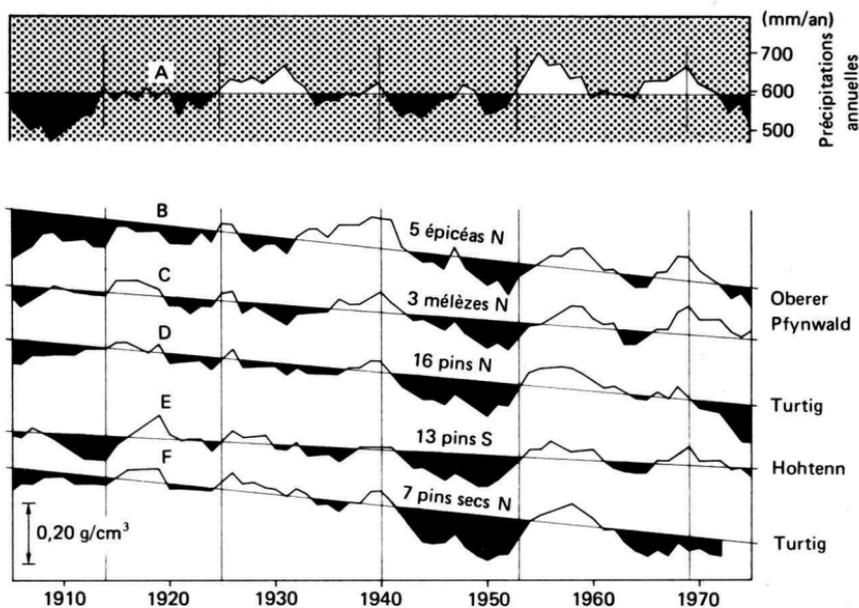


Fig. 3. Moyenne mobile quinquennale des précipitations annuelles à la station météorologique de l'ISM à Sion (A, année hydrologique) et de la densité maximale du bois d'automne. Celle-ci diminue en fonction de l'âge des arbres. La pente de la droite caractérise l'allure de ce vieillissement. On a décalé les courbes B à F pour des raisons graphiques. Les valeurs absolues de la densité maximale du bois d'automne varient suivant l'essence et la station mais les courbes A à F se superposent cependant assez bien.

N, S = Exposition Nord ou Sud.

B, C = Pied du versant dans la partie supérieure de Finges.

D, F = Peuplement de pins sur la pente au-dessus de Turtig.

E = Sur le versant au-dessus de Hohtenn.

Dans les placettes d'essai de Viège et Sierre, les plants non arrosés ont poussé nettement moins bien que ceux qui ont reçu de l'eau, même lors des périodes de végétation pluvieuses comme en 1977 et 1978. Dans la placette de Sierre, sur les surfaces non irriguées, seuls les pins ont survécu à l'été 1979.

La croissance dépend non seulement de l'abondance des précipitations, mais aussi de la fréquence et de la durée des périodes sans pluie. La première moitié des années 1970 a été la période quinquennale la plus sèche depuis le début des observations météorologiques en Valais. La figure 4 montre qu'en comparaison avec la moyenne pluriannuelle pour 1901 à 1964, la durée des périodes sans pluie a été en moyenne plus longue, et les longues périodes de sécheresse ont été plus fréquentes entre 1970 et 1975.

Nous avons mesuré avec la bombe de Scholander le potentiel d'eau, c'est-à-dire la qualité de l'approvisionnement en eau des rameaux de pin de ces placettes. De nombreuses plantes atteignent le point de flétrissement permanent pour des potentiels d'eau de 15 bars dans les rameaux. Les pins sylvestres sont les plus résistants: ils survivent jusqu'à des potentiels d'eau de 30 à 40 bars. Une semaine après le dernier arrosage du 4 juillet 1979, le potentiel d'eau des pins arrosés était de 14 à 16 bars (Tableau 1). Chez les pins non arrosés, il était nettement plus haut, variable suivant le clone et l'époque de la plantation.

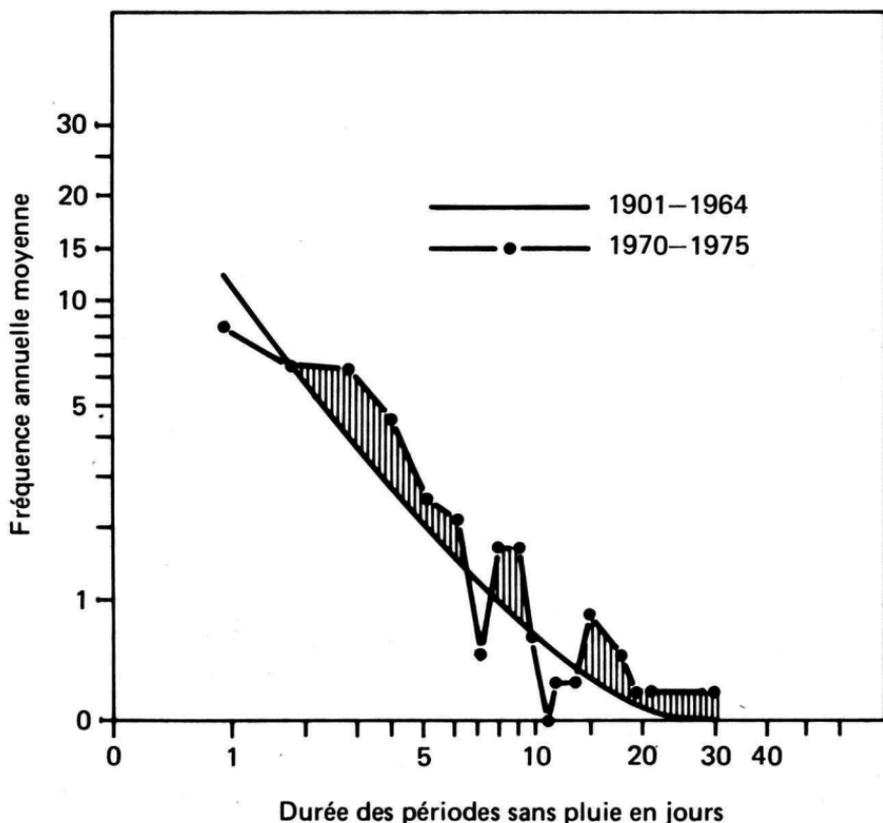


Fig. 4. Durée et fréquence annuelle moyenne des périodes sans pluie en Valais de 1970 à 1975, comparé à la période de référence pluriannuelle 1901-1964 (calculé d'après KUHNS 1973 avec les résultats des relevés météorologiques de la station de Sion).

Plants	Epoque de la plantation	Avec arrosage (environ 30 mm d'eau par semaine, y. c. pluie)	sans arrosage
Plants de clone de 6 ans	1977 (Nov.)	14,3 (\pm 1,0)	17,4 (\pm 0,7)
de 4 ans	1979 (Avril)	16,0 (\pm 1,4)	28,4 (\pm 3,2)
de 3 ans	1979 (Avril)	15,9 (\pm 1,3)	
Semis de 3 ans	1977 (Nov.)	16,6 (\pm 2,0)	23,1 (\pm 3,5)

Tableau 1. Potentiel en eau (en bars) de rameaux de pin (*Pinus silvestris* L.) (Placettes du Bois de Finges mesurées le 12.7.1979 entre 8 h. 45 et 11 heures.)

Ce tableau ainsi que les figures 3 et 4 illustrent l'importance de la sécheresse dans ces forêts du Valais. Ils ne prouvent pas que ce facteur est le premier responsable des dégâts forestiers en Valais, mais ils indiquent qu'il joue très probablement un rôle non négligeable.

b) Pollution atmosphérique

On invoque souvent à tort les résultats d'analyses chimiques de feuilles et d'aiguilles à l'appui d'un diagnostic de lésion. Certes la probabilité d'un dommage augmente avec les teneurs en fluor, mais on connaît des plantes indemnes riches en fluor et d'autres, à peine contaminées, malades. Les teneurs de fluorure, soufre et chlorure accumulés dans les tissus d'échantillons prélevés de façon strictement normalisée donnent une mesure de l'ampleur des atteintes subies, mais pas nécessairement de leurs effets.

L'analyse d'échantillons de plantes prélevées systématiquement est un auxiliaire approprié et sûr pour la cartographie des atteintes subies. Les teneurs en soufre et en chlorure d'aiguilles de pin sont plus hautes dans le Bas-Valais, entre le Léman et Saint-Maurice, que dans le Valais central (Tableau 2); il existe donc une pollution de l'atmosphère par SO_2 et HCl mais elle est faible. Le tableau est tout différent pour le fluor qui affecte moins la vallée du Rhône entre le Léman et la région de Sion, Martigny y compris, que la zone située en amont. Les teneurs en fluor des aiguilles de pin prélevées en aval de Sion diffèrent à peine des teneurs naturelles, tandis que, dans la Forêt de Finges, elles atteignent jusqu'au centuple de celles des pineraies de Saxon. Même à Viège, elles sont plus élevées que dans le Bas-Valais.

Après les très longues périodes sans pluie, les poussières fluorées adhérent aux aiguilles sont plus importantes que le fluor accumulé dans les tissus, bien que celui-ci représente souvent entre 70 et 90 % de la teneur totale. La figure 5 montre la répartition des teneurs en fluor d'aiguilles de pin âgées d'une année dans la Forêt de Finges en fonction de l'éloignement de la fonderie d'aluminium de Chippis. Les aiguilles analysées, formées dans l'année sèche de 1976, ont des teneurs en fluor doubles de celles d'aiguilles formées dans des années à précipitations normales. Cette figure montre sans équivoque l'importante pollution au fluor grevant toute la Forêt de Finges. De pareilles concentrations doivent être probablement accompagnées de dommages, spécialement sur une essence aussi sensible que le pin sylvestre (Tableau 2).

Les conditions topographiques et climatiques rendent le Valais sensible à la pollution de l'air. Toutes les impuretés atmosphériques, et non seulement les composés fluorés, stagnent à proximité du fond de la vallée, en particulier quand des inversions météorologiques stables provoquent la formation de lacs d'air froid et réduisent énormément le volume d'air disponible pour la dilution des émanations. Des essais préliminaires avec des plantes indicatrices, sensibles à certains agents polluants spécifiques, indiquent qu'en Valais un «smog» photochimique agit peut-être sur les

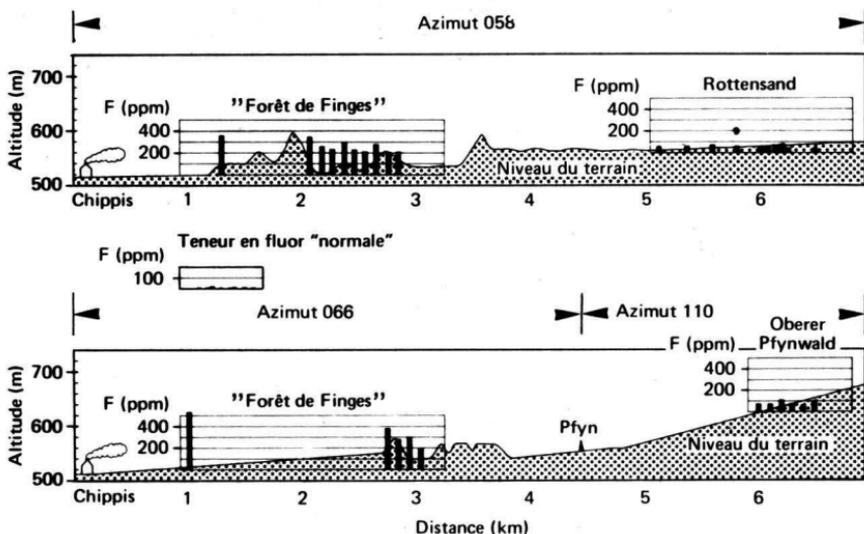


Fig. 5. Teneur moyenne en fluor d'aiguilles de pin de 1976 prélevées en juin 1977. Les lieux de prélèvement à chaque station (3 à 6 pins) sont alignés sur deux droites ayant pour origine la fonderie d'aluminium de Chippis (azimut N = 000, E = 100). Les échantillons de contrôle (teneur en fluor «normale») proviennent du terrain de l'IFRF et de stations d'altitude valaisannes.

Tableau 2. Teneurs en soufre, chlorure et fluorure des aiguilles de pin de 1977, prélevées à fin mars 1978, sur 3 à 5 pins par station. Les stations ont été choisies dans la plaine du Rhône ou au pied des cotreaux.

Région	Nombre de stations	Teneur en soufre ppm S			Teneur en chlorure ppm Cl			Teneur en fluorure ppm F		
		Min.	\bar{x} (s_x)	Max.	Min.	\bar{x} (s_x)	Max.	Min.	\bar{x} (s_x)	Max.
Léman - St-Maurice	11	962	1183 (± 115)	1335	23	35 (± 14)	75	1.6	3.4 (± 1.2)	6.0
Martigny - Saxon	20	806	1071 (± 206)	1547	14	23 (± 11)	37	0.8	3.9 (± 2.7)	11.6
Région de Sion	11	845	1092 (± 184)	1378	14	19 (± 4)	29	1.9	4.3 (± 1.3)	7.7
Chalais-Chippis-Agarn	13	793	964 (± 120)	1118	7	18 (± 8)	36	11.0	120.5 (± 130.0)	413.0
Steg-Viège-Brigue	14	767	860 (± 60)	988	13	20 (± 11)	47	1.2	10.0 (± 7.7)	15.8
Val de Bagnes (témoin)	6	507	732 (± 116)	832	13	20 (± 4)	25	0.1	7.8 (± 11.4)	29.8

forêts. Les impuretés atmosphériques primaires, comme les gaz nitreux, sont transformées par les rayons ultra-violet en combinaisons très oxydantes. La variété de tabac BelW3 réagit très violemment à ces substan-

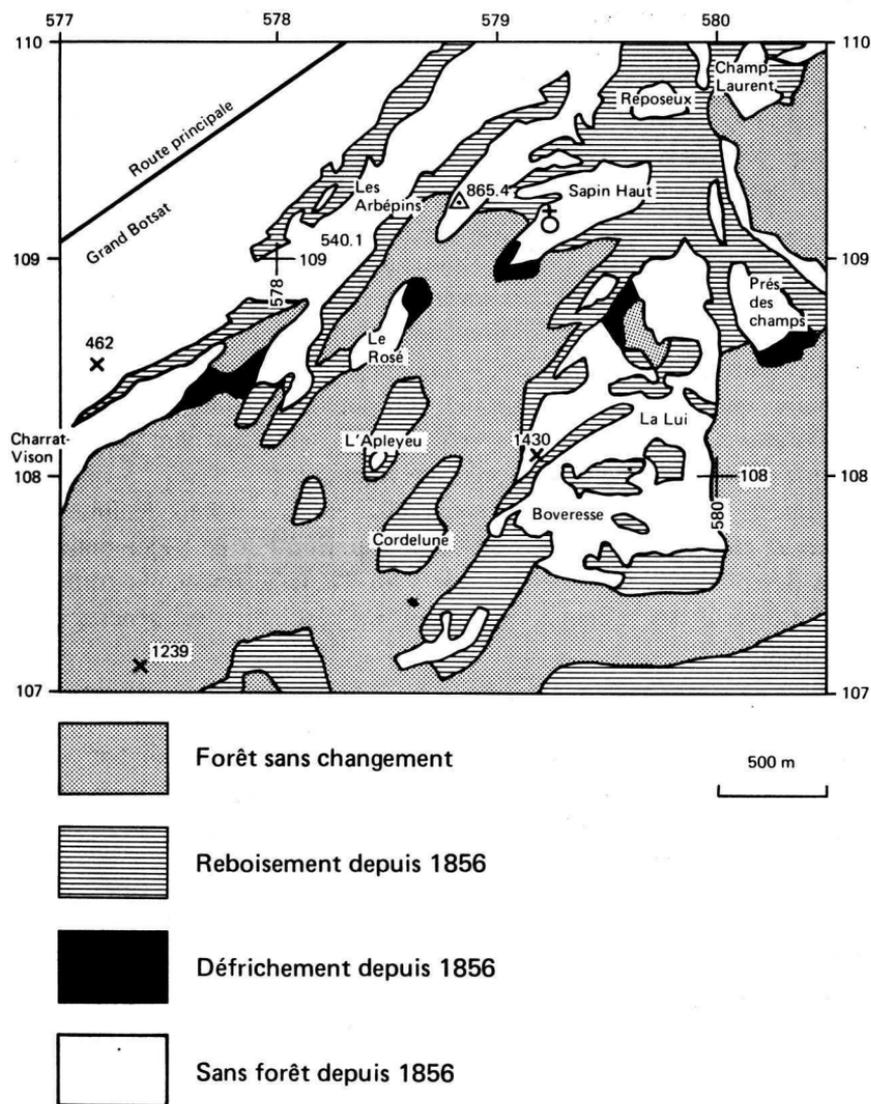


Fig. 6. Modification de l'aire forestière entre 1856 et 1971 à Charrat et Saxon. Sources: relevé original coloré pour la carte Dufour de 1856, au 1 : 50 000; carte Siegfried au 1 : 50 000 de 1878, 1920, 1923; carte nationale au 1 : 50 000 de 1971.

ces (ozone). Dans les chambres à gaz fermées, aérées avec de l'air non filtré, on a pu observer des symptômes de lésions dues au «smog», pratiquement absents dans les chambres à gaz avec air filtré.

c) Modification de l'aire forestière et des méthodes d'exploitation

L'étude des cartes topographiques publiées de 1856 à 1971 montre que pendant les 130 dernières années, la distribution des forêts et des terres agricoles dans les pentes au-dessus de Charrat/Saxon s'est beaucoup modifiée (figure 6). Au milieu du siècle passé, l'agriculture utilisait des surfaces plus vastes (zones hachurées de la figure 6). On trouve actuellement des peuplements forestiers d'un certain âge sur d'anciens champs ainsi que des friches toutes récentes ou déjà envahies de buissons; l'abandon des terres agricoles a donc commencé depuis longtemps. Les forêts défrichées par l'agriculture, en revanche, sont rares (surfaces noires de la figure 6). Il faudrait vérifier dans quelle mesure cette évolution touche d'autres parties des versants du Valais; elles ne se remarquent pas dans la plaine entre Martigny et Brigue, où, pendant la même période, les améliorations foncières et la correction du fleuve ont fait disparaître presque entièrement de vastes forêts riveraines.

L'aspect des forêts a également changé. Les forêts feuillues de chênes et châtaigniers au pied du versant au Sud-Est de Viège ont remplacé des pineraies signalées dans le plan d'aménagement des forêts de 1921. Le recul des résineux, et des pins en particulier, est général dans cette région.

d) Vieillesse des forêts

Les essences de lumière comme le pin forment la plupart du temps des peuplements plus ou moins uniformes. Le nombre de tiges dans les recrus

Distance de la fonderie (km)	Sol non forestier avec végétation herbacée		Sol forestier (pinède)	
	Horizon organique	Horizon de matière minérale	Horizon organique	Horizon de matière minérale
0.5	159	260	—	—
0.8	151	153	—	—
1.0	44	123	292	134
1.5	21	22	130	126
10.0	13	11	14	13
10.0	12	—	—	—

Tableau 3. Proportion de fluor soluble à l'eau dans différents profils de rendzines des environs de la fonderie d'aluminium de Chippis (POLOMSKI et al. B.).

est très grand et diminue rapidement avec l'âge, sous l'effet de la concurrence naturelle. Le vieillissement s'exprime par l'apparition de chablis, spécialement à l'époque où une nouvelle génération prend la relève. Les facteurs nocifs peuvent accélérer ce processus. Suivant l'intensité des soins, ces chablis naturels sont visibles ou non. On sait que les reboisements sur sols agricoles subissent des ralentissements de croissance ou une évolution différente de celle des forêts normales à cause du sol tassé par le bétail, de la densité du système racinaire de l'herbe, de la fumure antérieure, des modifications du régime des eaux et d'autres facteurs.

Dans les pineraies très endommagées au-dessus de Saxon, le ralentissement de l'accroissement se manifeste aussi bien chez les vieux que chez les jeunes peuplements (KIENAST et al.). Le vieillissement n'est pas le seul responsable de l'accumulation des dommages.

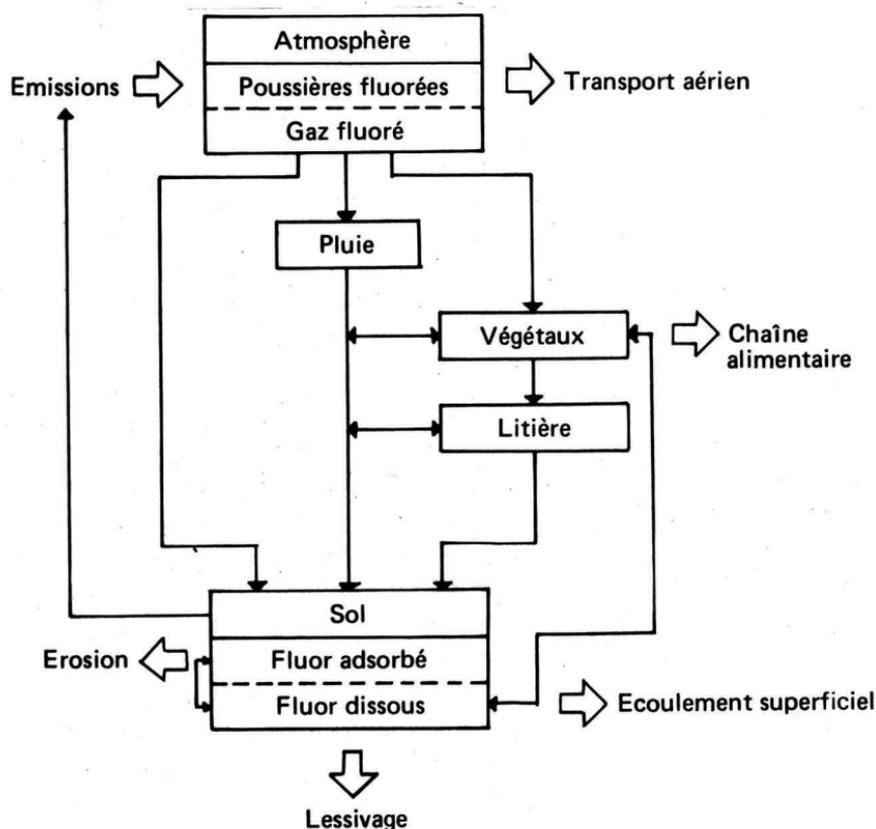


Fig. 7. Voies de pénétration du fluor atmosphérique dans le sol.

e) Influence du fluor sur le sol

Le sol est souvent décrit comme un système tampon, un filtre doué d'une capacité d'absorption illimitée. Cela vaut en particulier pour les terrains calcaires. Néanmoins l'apport de polluants atmosphériques et l'infiltration de précipitations acides provoquent de lentes altérations. Est-ce le cas dans les environs des fonderies d'aluminium après une septantaine d'années de dépôts fluorés ? La teneur totale en fluor du sol varie beaucoup et dépend surtout de sa composition minéralogique.

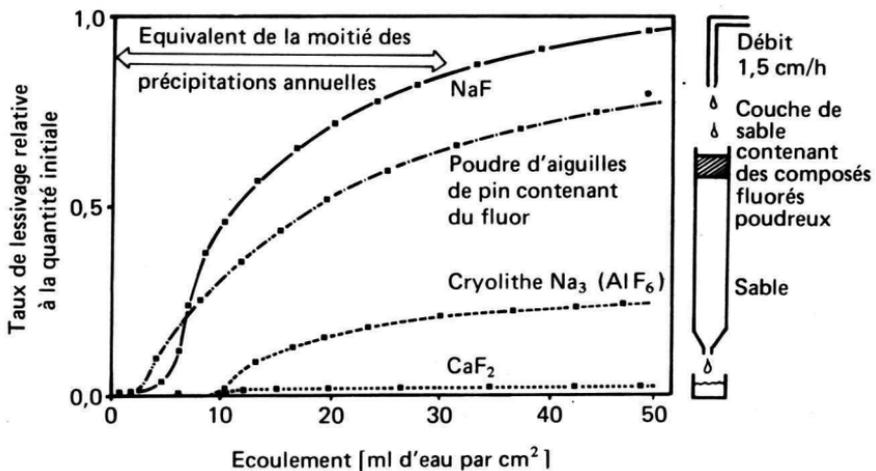


Fig. 8. Mobilisation et lessivage des poussières fluorées. La vitesse de lessivage dépend beaucoup de la solubilité.

La proportion des composés fluorés solubles à l'eau est très élevée dans le voisinage de la fabrique de Chippis et diminue avec l'éloignement (Tableau 3). Les valeurs sont plus hautes en forêt qu'en sol agricole. Le schéma de la figure 7 illustre quelques-unes des voies de pénétration dans le sol des gaz et poussières fluorés; ceux-ci sont en partie entraînés hors de l'atmosphère par la pluie. Grâce à leur effet filtrant, les feuilles et les aiguilles retiennent en forêt plus de poussières qu'en zones ouvertes. Lors de la décomposition de la litière sous forme de combinaisons lessivables, ces poussières parviennent dans le sol. La figure 8 montre la proportion de fluor lessivé. Dans la litière moulue d'aiguilles de pin, le fluor est presque aussi soluble que NaF, réputé très soluble. Le fluorure de calcium se mobilise assez difficilement, mais donne cependant, à l'état d'équilibre chimique, une concentration de fluorure de 7-10 ppm

dans la solution circulant dans le sol. Les sols carbonatés de la Forêt de Finges enregistrent des concentrations plus élevées de fluor (Tableau 3) montrant que les fournitures de calcium ou la précipitation de CaF_2 sont peut-être très lentes par rapport aux apports de fluor. Ces teneurs en fluor soluble modifient-elles les propriétés du sol ? Des essais de lessivage en laboratoire sur différents matériaux pédologiques ont démontré que des solutions de 50 à 200 ppm de fluor (NaF) dissolvent et mobilisent des quantités substantielles de matière organique, d'aluminium et

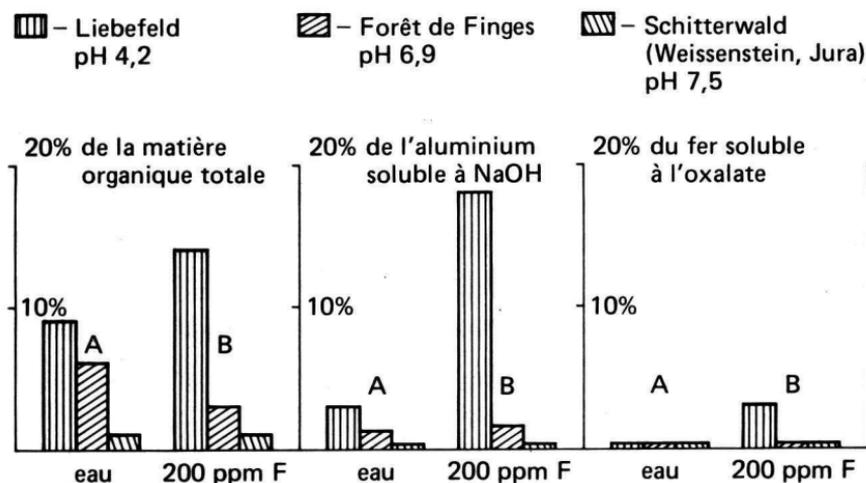


Fig. 9. Lessivage de la matière organique, de l'aluminium et du fer dans des échantillons de trois sols. On a d'abord utilisé de l'eau (A) puis une solution de NaF (200 ppm F) (B). Le total de lessivage (eau et solution de NaF) correspond à peu près aux précipitations annuelles (Sion). (D'après POLOMSKI et al. A).

de fer (figure 9, d'après POLOMSKI et al. A). Le lessivage est le plus accentué dans le sol acide argileux (Liebfeld), il est relativement faible dans une rendzine du Jura (Schitterwald). Les solutions fluorées de percolation (200 ppm F) ont cependant lessivé hors du sol de la Forêt de Finges des quantités considérables de la matière organique. Cette perte pourrait dégrader certaines caractéristiques du sol, telles que rétention de l'eau, aération, stabilité des agrégats, ou encore diminuer le substrat permettant la vie des microorganismes. L'aluminium dissous est toxique pour les racines des plantes. Ces essais de laboratoire ne permettent pas d'affirmer que ces effets jouent un rôle réel, mais ils montrent qu'on doit étudier le problème des atteintes fluorées subies à long terme.

9. Conclusion

Cette analyse des problèmes soulevés par les dégâts forestiers en dévoile la complexité et montre aussi la nécessité d'une étude à divers niveaux. Elle constitue d'une part une recherche purement appliquée et incite d'autre part l'étude approfondie de phénomènes fondamentaux. Il serait téméraire d'attendre d'elle des réponses à toutes les questions, mais elle a révélé où sont les problèmes et a permis les premiers pas vers leur solution.

Bibliographie

- KIENAST, F., H. FLÜHLER und F.H. SCHWEINGRUBER (IFRF, en prép.): *Dendrochronologische Untersuchungen in immissionsgefährdeten Föhrenbeständen (Pinus silvestris L.) im Unteren Wallis (Saxon).*
- KÖLBL, O. 1978. *Anwendung des Luftbildes in der Schweizer Forstpraxis. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 76 (10): 295-301.
- KUHN, N. 1973. *Frequenzen von Trockenperioden und ihre ökologische Bedeutung.* Vierteljahresschrift der Naturforschenden Ges. Zürich 118: 257-298.
- LENZ, O., E. SCHÄR und F.H. SCHWEINGRUBER, 1976. *Methodische Probleme bei der radiographisch-densitometrischen Bestimmung der Dichte und der Jahrringbreiten von Holz.* Holzforschung 30 (4): 114-123.
- ÖSTER, B., H. FLÜHLER, O. KÖLBL und H.U. SCHERRER (IFRF, en prép.): *Walliser Waldschäden. II. Beurteilung von Föhrenschäden anhand von Luftbildstichproben auf grossmasstäblichen Infrarot-Farbaufnahmen.*
- PÓLOMSKI, Janina, H. FLÜHLER und P. BLASER, (A. IFRF, en prép.) *Fluoride induced mobilization and leaching of organic matter, iron, and aluminium.* — (B. IFRF, en prép.) *Fluoride mobility in soils.*
- SCHERRER, H.U., H. FLÜHLER und F. MAHRER (IFRF, en prép.) *Walliser Waldschäden. I. Alternative Verfahren für die Interpretation von Föhrenschäden (P. silvestris L.) auf mittelmassstäblichen Infrarot-Farbaufnahmen.*
- SCHOLANDER, P.F., H.T. HAMMEL, E.D. BRADSTREET, and E.A. HEMMINGSEN, 1965. *Sap pressure in vascular plants.* Science N.Y. 148: 339-346.
- SCHWEINGRUBER F.H., O.U. BRÄKER und E. SCHÄK. 1979. *Dendroclimatic studies on conifers from Central Europe and Great Britain.* Boreas (en impression).