

Dépérissement des forêts : les risques en zone méditerranéenne

par Maurice BONNEAU *

Introduction

Dès la fin des années 1970 en Allemagne, depuis 1983 dans l'Est de la France, la forêt donne des signes de mauvaise santé qui ont inspiré une certaine inquiétude dans l'opinion publique et les milieux professionnels. Ces malaises se sont maintenus à un niveau stationnaire depuis cette époque (15 à 20 % de l'effectif d'arbres atteint dans les régions les plus touchées de France) et le terme de "dépérissement" qui leur a été appliqué est excessif, les mortalités restant rares sauf en quelques points très limités.

Un effort considérable de compréhension de ces problèmes a été fait, mobilisant des effectifs de chercheurs nombreux et des sommes d'argent importantes, dans certains pays tout au moins. Ces efforts commencent à porter leurs fruits, doublement, car d'une part on cerne mieux maintenant les causes du mal, et d'autre part l'ensemble des recherches conduit incontestablement à des progrès dans les connaissances fondamentales du fonctionnement des écosystèmes forestiers et de la réaction des espèces ligneuses à des stress divers.

Cependant les recherches effectuées sont essentiellement le fait des pays de la zone tempérée : en effet c'est dans cette zone que le dépérissement était le plus net et c'est là qu'il atteignait l'essentiel du potentiel de production ligneuse.

Dans les forêts des zones méditerranéennes, l'étendue et la nature du dépérissement sont encore mal connues et peu de recherches ont été effectuées, de sorte qu'il est assez difficile de parler du problème en termes spécifiques à ces régions.

C'est pourquoi les propos qui suivent se contenteront de rappeler les principales causes de dépérissement retenues dans les zones tempérées, puis d'analyser dans quelle mesure elles sont extrapolables aux forêts méditerranéennes.

I.- Rappel des causes de dépérissement en zone tempérée

Dans ces régions le dépérissement (régression de l'état de santé qui ne découle pas d'une cause évidente telle qu'accident météorologique ou parasitaire) se traduit par deux grands types de symptômes : pertes de feuillage et jaunissement. L'une et l'autre de ces deux manifestations revêtent deux types principaux :

- une défoliation de type "ancien" qui peut remonter à une dizaine d'années ou davantage ;
- une défoliation de type "nouveau" caractérisée par le fait que les rameaux défoliés restent bien visibles sur la cime de l'arbre ;
- un jaunissement des résineux et du hêtre sur sols très acides, correspondant à une carence magnésienne et calcique et atteignant chez les résineux les aiguilles de 2 ans et plus ;
- un jaunissement des résineux en sol neutre ou calcaire, atteignant l'ensemble du feuillage y compris les aiguilles de l'année en cours et qui correspond à des carences en l'un ou plusieurs des trois éléments potassium, azote et phosphore.

Trois grandes causes sont à l'heure actuelle retenues comme pouvant jouer un rôle dans le dépérissement (Bonneau et Landmann, 1988 ; Bonneau, 1989).

1.- Les circonstances climatiques des 25 dernières années (Becker, 1987 ; Levy et Becker, 1987). On a assisté, après les grandes sécheresses de 1947 et 1949, à une répétition d'années à faible pluviométrie : 1959, 1964, 1972, 1976 et, dans certaines régions, 1983, 1985 (sans parler de 1989, plus récent). La défoliation de type "ancien" correspond probablement à un affaiblissement progressif des arbres qui ont subi ces épisodes climatiques. Le déclin de ces arbres remonte probablement à 1949, si ce n'est à 1921, année également très sèche, mais le choc fatal est à rapporter aux années 1964 et 1976 (figure 1), et sans doute à 1983 et 1985 dans certaines régions comme le Jura. Les sécheresses récentes (1976) ont pu déboucher sur une défoliation de type "nouveau".

* Ingénieur général du Génie rural et des eaux et forêts - Centre de recherches forestières de Nancy 54280 Champenoux

Avec les facteurs climatiques interagissent évidemment les facteurs édaphiques (profondeur, texture et pierrosité du sol) et sylvicoles (éclaircies suffisantes ou non).

2.- La pollution acide correspondant aux dépôts humides (pluie), occultes (brouillards) et secs (gaz). Ces dépôts acides ont en grande partie pour origine dans l'hémisphère Nord les gaz émis par les foyers domestiques ou industriels (SO_2 , oxydes d'azote, acide chlorhydrique, acide fluorhydrique) et la circulation automobile (oxydes d'azote). Il faut y ajouter les émissions d'ammoniaque des élevages, qui ont après transformation en sels d'ammonium un potentiel acidifiant, en même temps qu'ils représentent, après dépôt sur les forêts, un facteur de déséquilibre de la nutrition.

Comme dans le cas des effets climatiques, des facteurs naturels ou sylvicoles interagissent avec la pollution acide : c'est surtout sur les substrats géologiques très pauvres (grès, granites leucocrates), qui donnent naissance à des sols à faible réserve de fertilité, que les dépôts acides exercent des effets très nocifs. Ils sont particulièrement sensibles sur les peuplements résineux à feuillage permanent sur lesquels les dépôts occultes et secs sont les plus élevés. Ils provoquent le jau-

nissement des feuillages en sol acide et, sur les résineux, peuvent entraîner, après chute des aiguilles jaunies, des défoliations de type "nouveau".

On peut considérer que ces deux premiers groupes de facteurs jouent un rôle certain et important dans le dépérissement. La troisième cause ci-dessous est plus discutée et son rôle est sans doute plus discret et plus complexe.

3.- La pollution gazeuse. Les deux principaux polluants, dioxyde de soufre et ozone, ne sont présents, dans les zones rurales, qu'à des doses modérées, à la différence de la proximité des foyers industriels qui peuvent être soumis à une pollution de proximité importante. Dans les Vosges par exemple, la teneur en SO_2 est très faible (15 microgrammes par m^3) pendant presque toute l'année sauf en hiver où peuvent survenir des pointes de pollution, peu fréquentes mais intenses, allant jusqu'à 200 ou 300 microgrammes par m^3 pendant quelques heures (figure 2A). L'ozone par rapport à une teneur de fond de 50 microgrammes par m^3 environ, peut atteindre en été 100 microgrammes en moyenne mensuelle et 200 microgrammes en pointe horaire.

Il est pratiquement sûr que ces

polluants, aux doses ci-dessus, n'ont pas d'action nécosante directe ni d'effet nocif à court terme. Par exemple le SO_2 , appliqué pendant l'hiver, ne réduit que faiblement la croissance du sapin (Larsen et Fricrich, 1988). De même, 300 microgrammes d'ozone sur l'épicéa pendant plusieurs semaines n'ont qu'un effet faible (le pin sylvestre est nettement plus sensible).

Par contre l'ozone, à long terme, semble accélérer la sénescence des arbres. L'action de ces deux polluants est surtout à chercher dans l'interaction avec les facteurs naturels. L'un et l'autre par exemple semblent augmenter la sensibilité des arbres au froid ou à la sécheresse (Freersmith, 1986 ; Amundson et Coming, 1988 ; Macrez et Ubac, 1988 ; Wright et Lucas, 1986). L'ozone, qui ne semble pas réduire considérablement la photosynthèse des arbres dans les conditions normales, la diminue très sensiblement sur les sols pauvres (Selinger *et al.*, 1986).

La plupart des dommages constatés dans les zones tempérées semblent pouvoir s'inscrire dans le schéma d'action de ces trois grands groupes de causes (figure 3), avec dominance de l'une ou de l'autre suivant les régions et les stations et suivant des combinaisons qui peuvent être assez variables à courte distance.

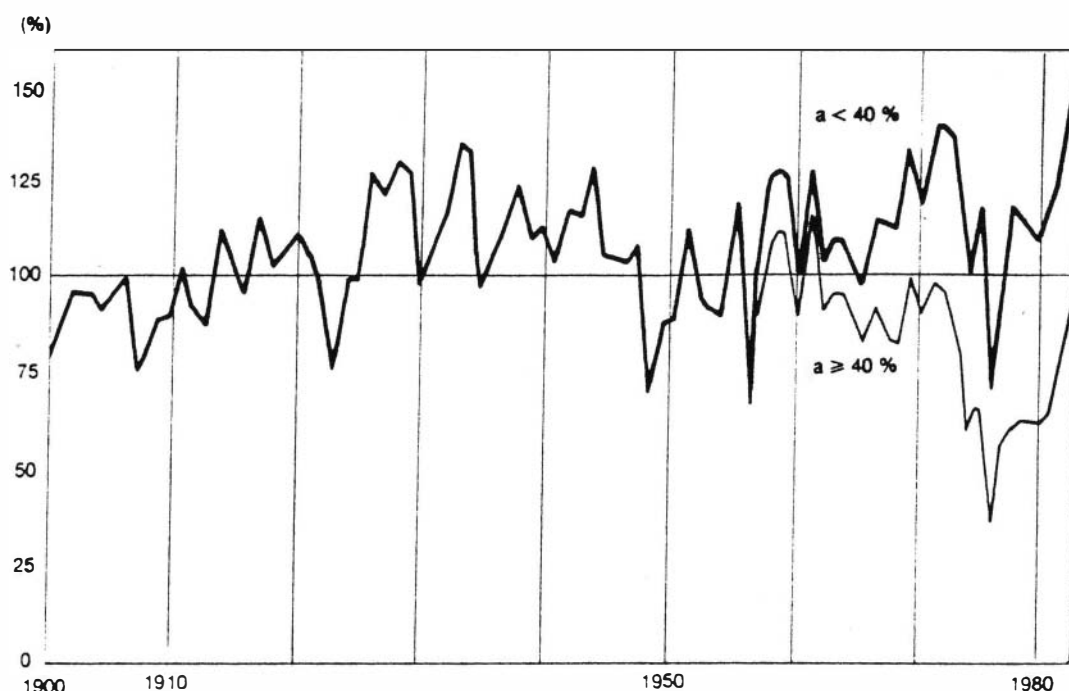
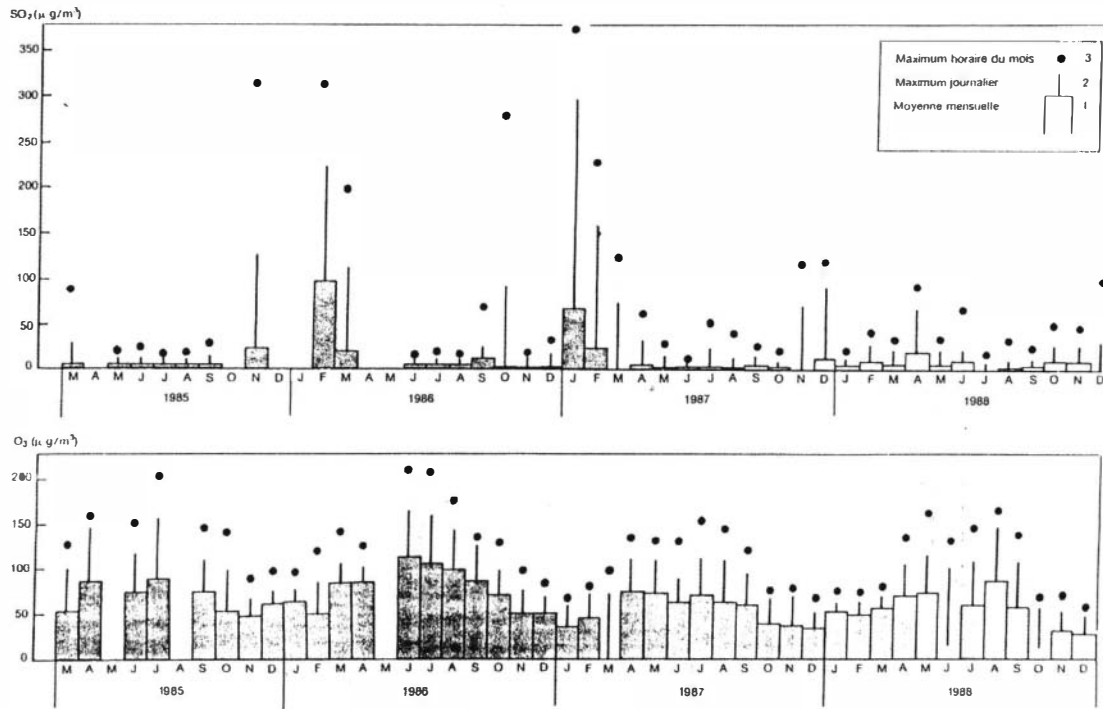


Figure 1 : Evolution de la largeur relative (corrégée de l'effet de l'âge) des cernes de deux échantillons de sapin des Vosges affectés d'une défoliation supérieure ou inférieure à 40 % (d'après M. Becker, 1987 in Bonneau, 1989).



II.- Transposition aux zones méditerranéennes

1.- Dommages.

Il semble que, jusqu'à maintenant, l'inventaire des dommages soit incomplet et probablement peu fiable sur le pourtour de la Méditerranée. Il y a à cela plusieurs raisons :

- démarrage plus tardif des réseaux de surveillance ;
- rareté ou absence de références descriptives sur les espèces méditerranéennes permettant aux notateurs d'opérer avec rigueur ;
- forêts souvent à un stade de leur dynamique mal stabilisé, en raison des conséquences de l'emprise humaine, des feux etc.

Il semble que, jusqu'ici, on n'ait décrit que rarement des dépérissements caractéristiques (affaiblissement sans cause immédiatement identifiable). La plupart des dommages évoqués sont attribués surtout à la sécheresse, à des parasites, et dans quelques cas à des pollutions de proximité. Ainsi on note des dépérissements du chêne-liège en Catalogne dus à un champignon, *Botryosphaeria sterensii* (Luque et Girbal, 1989), des dépérissements de plusieurs espèces de chêne (chevelu, sessile, pédonculé, pubescent) en Italie, où plusieurs champignons sont incriminés, dont certains causeraient des tracheomycoses (Ragazi *et al.*, 1989), ainsi que du sapin dans les Alpes maritimes italiennes (Schenone et Buffoni, 1989).

Les dommages inventoriés semblent du même ordre de grandeur que ceux qu'on observe en zone tempérée (15 à 20 % d'arbres présentent une perte de feuillage de 25 à 60 %).



Photo 1 : Tour de mesure de la teneur de l'air en NO_x, SO₂, O₃ près du Col du Donon (Vosges).

Photo Maurice Bonneau

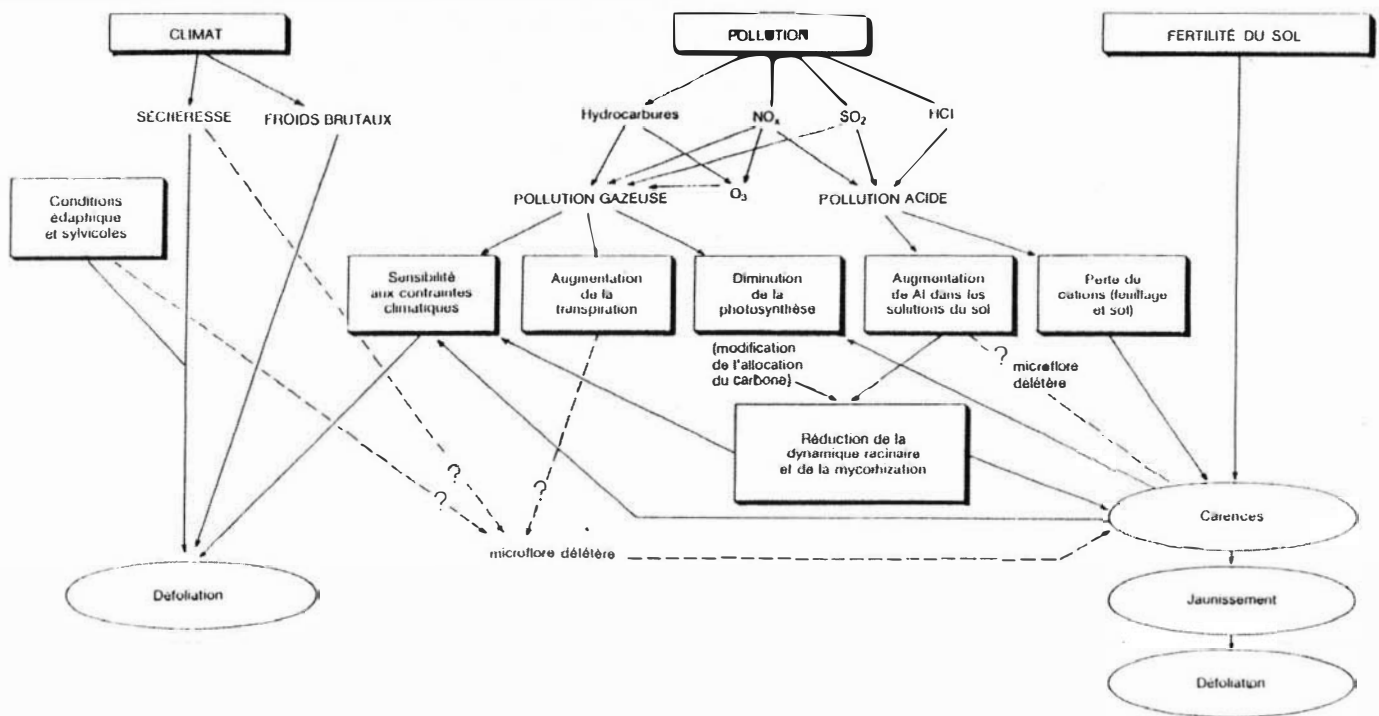


Figure 3 : Schéma général des causes du dépérissement en zone tempérée (d'après Bonneau 1989).

2.- Les causes retenues en zone tempérée sont-elles transposables aux régions méditerranéennes ?

2.1.- Sécheresse. De toute évidence, la zone méditerranéenne peut être soumise, comme les zones tempérées, à des sécheresses exceptionnelles. Les essences forestières méditerranéennes sont *a priori* mieux armées génétiquement que les essences tempérées pour y résister. En fait il semble que si des années sèches se répètent, ce qui se produit en ce moment, même des essences très adaptées comme le chêne-vert puissent souffrir.

Il faut penser aussi que les régions méditerranéennes comportent des régions montagneuses, où sont situées les plus belles forêts, que ces zones reçoivent normalement des chutes de pluie ou de neige importantes, et des années sèches répétées peuvent être tout aussi dommageables que dans les zones tempérées, puisqu'elles s'appliquent aux mêmes

essences (sapin, hêtre). Les symptômes de dépérissement décrits par exemple dans les Alpes maritimes d'Italie sur le sapin semblent se rapprocher de ce qu'on observe dans certaines sapinières du Jura.

Par ailleurs les sols superficiels sont plus fréquents qu'en zone tempérée et globalement la sensibilité à la sécheresse s'en trouve augmentée.

2.2.- Apports acides. Les apports acides sont très probablement moins importants en zone méditerranéenne qu'en zone tempérée (par exemple dans les Monts Montseny au nord-ouest de Barcelone, seulement 18% des pluies ont un pH inférieur à 4,5.).

Il existe en effet des apports de poussières en provenance de zones arides qui contribuent à saturer l'acidité des nuages. Par exemple au Mont Lozère il y a

davantage d'apports de sulfates que dans les Vosges mais ils sont beaucoup plus associés à du calcium ou à du potassium qu'à des protons (Durand, 1989).

L'atmosphère souvent sèche ne favorise pas l'oxydation du SO_2 et des oxydes d'azote en acides.

Les sols, souvent plus jeunes, souvent dérivés de roches-mères calcaires, sont moins sensibles aux apports acides. Mais il y a bien sûr des exceptions. Même les roches silicatées ont une forte capacité de neutralisation acide (Roda, communication personnelle) due à un potentiel élevé d'altération (climat chaud).

La dynamique de l'eau est différente de celle des régions tempérées : les protons altèrent les minéraux mais la percolation étant moindre les solutions se concentrent et ceci s'oppose à l'appauvrissement en cations du complexe absorbant. Dans l'évolution pédologique générale, les sols méditerranéens sont d'ailleurs moins désaturés que leurs homologues tempérés ; les arbres y souffrent davantage de carences en phosphore et azote qu'en calcium et magnésium et les apports acides déséquilibrent donc moins la nutrition qu'en milieu tempéré.

2.3.- Polluants gazeux. Le dioxyde de soufre risque d'être, à émissions égales, plus dangereux qu'en zone tempérée car, la majeure partie du temps, il ne s'oxyde que plus lentement en acide (atmosphère plus sèche) et donc l'air reste chargé en SO₂.

Bien que les émissions domestiques soient probablement moindres en hiver en région méditerranéenne que dans les contrées plus nordiques, il n'est pas exclu que l'interaction sécheresse x SO₂ (Macrez et Ubac, 1988) puisse jouer un rôle sous le vent des agglomérations industrielles qui émettent même en été. Il faut noter cependant que les variétés méditerranéennes de diverses espèces forestières sont souvent plus résistantes à SO₂ et à la sécheresse que leurs homologues des zones tempérées.

L'ozone peut constituer un risque sérieux. En effet les conditions de son élaboration sont très favorables en zone méditerranéenne, à cause du fort ensoleillement, dans les régions industrielles ou à fort trafic routier où les émissions d'oxyde d'azote et de composés organiques volatiles sont importantes. La forte fréquentation touristique qui amène un surcroît de véhicules à la belle saison est à cet égard un facteur défavorable. Ces masses d'ozone élaborées pendant le jour sont susceptibles ensuite d'être transportées en zone rurale où, spécialement en altitude, elles bénéficient d'une assez longue stabilité du fait de la rareté des émissions de gaz réducteurs.

Malheureusement les chiffres de teneur de l'air en ozone sont encore très rares. Le peu que l'on connaisse semble effectivement indiquer une différence notable entre les régions tempérées et méditerranéennes. Par exemple dans les Vosges, à 700 m d'altitude (figure 2B), on a très rarement plus de 100 microgrammes d'ozone en moyenne mensuelle d'été et les pointes horaires ne dépassent pas 200 microgrammes. En Toscane, dans les environs de Pise, on a nettement plus de 100 microgrammes en moyenne de mai à septembre et le maximum pour 7 heures consécutives de jour peut atteindre 220 microgrammes par m³ (à comparer aux pointes horaires de 200 microgrammes



Photo 2 : Cime de sapin dépérissant. Forêt noire, 1983. Noter la forte défoliation des branches les plus élevées qui ne portent plus que quelques rameaux feuillus à l'extrémité. La persistance de "rameaux fins dénudés" témoigne de la date récente de la défoliation.
Photo M.B.

dans les Vosges), et la moyenne mensuelle pour ces 7 heures de jour s'élève à 140 microgrammes (Lorenzini *et al.*, 1989). Or 100 microgrammes pendant 7 heures peuvent déjà réduire la photosynthèse du sapin, 150 microgrammes causer des lésions sur le hêtre (Ashmore *et al.*, 1985).

Il semble que les contrées méditerranéennes se différencient des tempérées davantage par les concentrations maximales en ozone que par la moyenne générale.

Pour illustrer le danger de teneurs élevées de l'air en ozone dans les régions à climat méditer-

ranéen il faut rappeler le sévère dépérissement du *Pinus ponderosa* en Californie dans les années soixante. De tels effets sont certainement possibles dans les environs des grandes agglomérations méditerranéennes, mais ces risques sont probablement modulés par la sensibilité des différentes espèces et par la direction des vents locaux qui peuvent conduire les masses d'air riches en ozone vers la mer ou vers la terre.

En fait il ne semble pas qu'on ait signalé jusqu'ici sur les espèces méditerranéennes les taches blanches ou jaunes, puis nécrotiques, caractéristiques des dégâts



Photo 3 : A l'arrière plan, 2 épicéas assez fortement défoliés. Epicéa sain au 1er plan - Puy de Dôme, 1985
Photo M.B.

d'ozone. Mais en dehors de cette action directe il peut agir indirectement en réduisant la résistance à la sécheresse et en augmentant la déperdition d'eau, en sensibilisant les plantes à certains parasites et en accélérant la sénescence des feuillages. Ces dommages chroniques peuvent probablement à la longue avoir une influence sur la vigueur et sur la longévité des végétaux.

Enfin il faut souligner aussi que les conditions méditerranéennes sont favorables également à de fortes concentrations de dioxyde d'azote (intermédiaire dans l'élaboration de l'ozone) et que son action semble en synergie avec celle de l'ozone.

Conclusions

Les dommages en zone méditerranéenne sont à l'heure actuelle assez mal connus et probablement assez mal inventoriés. Il est vraisemblablement nécessaire de faire un effort de connaissance symptomatologique, en réfléchissant bien sur quelles essences doit prioritairement porter l'effort.

Les risques de l'interaction sécheresse x pollution sont probablement plus élevés encore qu'en zone tempérée. Les facteurs les plus dommageables semblent pouvoir être des taux élevés de SO₂ en été sous le

vent des agglomérations et des taux d'ozone élevés en milieu rural, spécialement montagnard, en été. Il n'est pas impossible que les cas assez fréquents de parasitisme sur chêne, hêtre ou de dépérissement sur sapin, soient déjà l'expression d'une sensibilité accrue des arbres sous l'influence d'une pollution croissante par l'ozone.

M.B.



Photo 4 : Sapins très sains et très vigoureux. Plateau de Sault, forêt de Picaussel, 1985.

Photo M.B.

Bibliographie

Amundson R.G., Comming J.R., 1988 : Ozone exposure potentiates winter injury in red spruce seedlings. In : *International Symposium on forest tree physiology*, Nancy, 25-30.09.1988.

Ashmore M., Bell N., Rutter J., 1985 : The role of ozone in forest damage in West Germany. *Ambio*, 14, pp. 81-82.

Becker M., 1987 : Bilan de santé actuel et rétrospectif du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Etude écologique et dendrochronologique. *Ann. Sc. For.*, 44, 4, pp. 379-402.

Bonneau M., 1989 : Que sait-on maintenant des causes du «dépérissement» des forêts ? *Rev. For. Fr.*, 41, 5, pp. 367-385.

Bonneau M., Landmann G., 1988 : De quoi la forêt est-elle malade ? *La Recherche*, 205, pp. 1542-1553.

Lelong F., Durand P., Didon-Lescot J.F., 1988 : Comparaison des bilans hydrochimiques, des taux d'altération et d'acidification dans trois petits bassins versants granitiques similaires à végétation contrastée (Mont-Lozère, France). *Sci. Géol. Bull.*, 41, 3, pp. 263-278.

Freer-Smith P.H., 1986 : The res-

ponses of *Picea sitchensis* (Sitka spruce) to small concentrations of SO₂ and NO₂ experienced during dormancy and the implication for frost resistance. In : *CEC. Directorate for Science, Research and Development. Environment Research Programme. Air pollution research report 4* (Workshop : "Direct effects of dry and wet deposition on forest ecosystems, in particular canopy interaction", Lökeberg, Sweden), pp. 201-209.

Larsen J.B., Friedrich J., 1988 : Wachstumreaktionen verschiedenen Provenienzen der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) nach winterlich SO₂ Begasung. *Eur. J. For. Path.*, 18, 3-4, pp. 190-199.

Levy G., Becker M., 1987 : Le dépérissement du Sapin dans les Vosges : rôle primordial de déficits d'alimentation en eau. *Ann. Sc. For.*, 44, 4, pp. 403-416.

Lorenzini G., Panottoni A., Guidi L., 1987 : Considerazioni sul possibile ruolo dell'ozono nel determinismo del deperimento dei boschi in Europa. Convegno sulle avversità del bosco e delle specie arboree do ligno, Firenze, 15-16.10.1987, pp. 139-152.

Luque J., Girbal J., 1989 : Dieback

of cork oak (*Quercus suber*) in Catalonia (N.E. Spain) caused by *Botryosphaeria stevensii*. *Eur. J. For. Path.*, 19, (7-13).

Macrez V., Ubac C., 1988 : Exposure to SO₂ and water stress in *Picea abies* (L.) Karst. *Water, Air and Soil Pollution*, 40, (3-4), pp. 251-259.

Ragazi A., Dellavalle-Fedi I., Mesurino L., 1989 : The oak decline : a new problem in Italy. *Eur. J. For. Path.*, 19, pp. 105-110.

Selinger H., Knoppik D., Ziegler-Jöns A., 1986 : Einfluss von Mineralstoff-ernährung, Ozon und saurem Nebel auf Photosynthese-Parameter und stomatäre Leitfähigkeit von *Picea abies* (L.) Karst. *Forstwiss. Centralbl.*, 105, pp. 239-242.

Wright E.A., Lucas P.W., Cottam D.A., Mansfield T.A. : Physiological responses of plants to SO₂, NO_x and O₃. Implication for drought resistance. In : *CEC. Directorate for Science, Research and Development. Environment Research Programme. Air pollution research report 4* (Workshop : "Direct effects of dry and wet deposition on forest ecosystems, in particular canopy interaction", Lökeberg, Sweden), pp. 187-200.