

Effets de l'ozone sur la forêt et la végétation dans les Alpes franco-italiennes

par

Laurence DALSTEIN
Nicolas VAS

Francesco TAGLIAFERRO
Anna-Maria FERRARA
Federica SPAZIANI

***C'est dans le cadre
d'un programme européen
transfrontalier qu'a été mise
en place cette étude. Elle concerne
les Alpes franco-italiennes.
Dans cette région, la pollution
à l'ozone a des impacts certains
sur la végétation, de nombreuses
espèces y sont sensibles.
L'objectif de cette étude était,
outre de connaître
les concentrations d'ozone,
de rechercher les symptômes
spécifiques à cette pollution
et d'en confirmer les dégâts
grâce à la microscopie.***

Introduction

A l'heure actuelle, la pollution de l'air est l'une des principales problématiques de l'Europe, et l'ozone est un polluant majeur des pays les plus industrialisés. Les fortes concentrations d'ozone troposphérique constituent un facteur de modification non négligeable de la biologie des plantes qui peuvent dépérir et être soumises plus facilement à d'autres stress. Parmi les plantes connues comme particulièrement sensibles à l'ozone, il faut citer les graminées, importantes pour l'alimentation de l'homme (le blé et le riz) et du bétail, certains cultivars de tabacs (longtemps utilisés comme plantes-test) de même que quelques arbres très vulnérables : il s'agit entre autres des pins, du hêtre (*Fagus sylvatica*), de l'érable (*Acer pseudoplatanus*), du frêne (*Fraxinus* sp.) ou du merisier (*Prunus avium*).

Au travers d'un programme européen Interreg II, un projet transfrontalier de recherche a été approuvé en 1999 entre l'I.P.L.A. (Istituto per le piante da legno e l'ambiente, Turin, Italie) et le G.I.E.F.S. (Groupe international d'études des forêts subalpines, Nice, France) en collaboration avec Qualitair (Réseau de mesure de la qualité de l'air dans les Alpes-Maritimes).

Cette étude a eu pour objectif de mettre en évidence les impacts de la pollution atmosphérique, notamment la pollution par l'ozone, sur différentes espèces végétales de la région méditerranéenne franco-italienne. Les recherches de symptômes typiques de l'ozone sur les espèces arborées et herbacées ont été menées ; d'une part dans des stations forestières de la Région du Piémont, sur la colline de Turin en Italie, d'autre part en France, dans le massif alpin du Mercantour et sur le littoral niçois.

1 - <http://www.gva.es/ceam/ICP-forests/>
CEAM : Centro de estudios ambientales del Mediterráneo
2 - Issu du manuel de l'International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution on Forests, ICP-Forests, Commission Economique pour l'Europe, voir adresse internet ci-dessus

Objectifs

En 1999, ce programme a eu trois objectifs principaux :

- la connaissance des niveaux de concentration de l'ozone en milieu rural transfrontalier ;
- le suivi forestier et la recherche de symptômes spécifiques d'ozone sur les arbres et la végétation ;
- la confirmation des dégâts foliaires de l'ozone au moyen de la microscopie.

Matériel et méthode

Choix des zones d'étude

Les zones choisies des deux régions répondaient aux critères suivants :

1. des essences courantes, montrant des dommages apparemment jamais observés, et souvent soumises à de forts niveaux d'ozone atmosphérique : robinier (*Robinia pseudoacacia*), pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et sapin (*Abies alba*) en Italie, pin cembro (*Pinus cembra*), pin sylvestre et pin d'Alep (*Pinus halepensis*) en France ;

2. un gradient altitudinal depuis la plaine du Pô ou du littoral niçois jusqu'à la limite supérieure de la forêt, sur la frange alpine transfrontalière ;

3. des lieux d'observation tenant compte de l'orientation des placettes et de la topographie des sites. L'exposition des arbres joue un rôle important dans l'assimilation de l'ozone par ouverture plus ou moins facile des stomates (petits pores de l'épiderme, permettant les échanges avec le milieu extérieur : respiration ou excrétion). L'ouverture de ces stomates est conditionnée par l'éclairement, la température et l'humidité, et donc par l'exposition et les conditions spécifiques des sites.

Mesure de l'ozone

Deux techniques de mesure ont été utilisées, elles sont décrites ci-après.

1. Mise en place de capteurs passifs à proximité des zones forestières, répartis dans tout le département des Alpes-Maritimes et dans les vallées principales entourant Turin. Ces capteurs ont été remplacés chaque mois, de mai à septembre. C'est pendant cette période que l'ensoleillement est le plus intense et que les concentrations en ozone enregistrées sont les plus fortes. Ces capteurs, fournis et analysés par le laboratoire IVL de Göteborg, ont été protégés de la pluie par un plateau (Cf. Photo 1).

2. Utilisation d'analyseurs physico-chimiques, qui fournissaient des concentrations horaires d'ozone. En France, deux analyseurs ont été installés en montagne, dans le Mercantour : à La Colmiane (1500 m) et dans le Cians (1450 m). Deux autres analyseurs ont été installés sur le littoral azuréen : au Jardin botanique et sur les hauteurs de Nice, à Brancolar. Pour l'Italie, un analyseur a été placé à Ferrere, près du massif de l'Argentera, dans la vallée Stura de Demonte, à 1900 m d'altitude.

Observation et analyse de la végétation

Chaque mois, pendant la période été-automne, des échantillons foliaires de plantes symptomatiques ont été notés, prélevés et analysés. Cette technique a permis d'étudier et de vérifier les dégâts d'ozone et leur évolution dans le temps. L'échantillonnage du matériel végétal dépendait de plusieurs critères : présence ou absence de symptômes sur la face supérieure de la feuille, absence de symptômes sur la face inférieure, âge de la plante et degré d'exposition des feuilles à la lumière. Les plantes connues dans la littérature comme sensibles à l'ozone ont été particulièrement recherchées. Le diagnostic des symptômes de pollution par l'ozone a été différencié des altérations liées aux pathogènes (LORENZINI, 1999). La bibliographie, la page web du C.E.A.M. de Valencia¹ et les indications orales de M. J. Sanz du C.E.A.M. ont permis de confirmer les dégâts spécifiques.

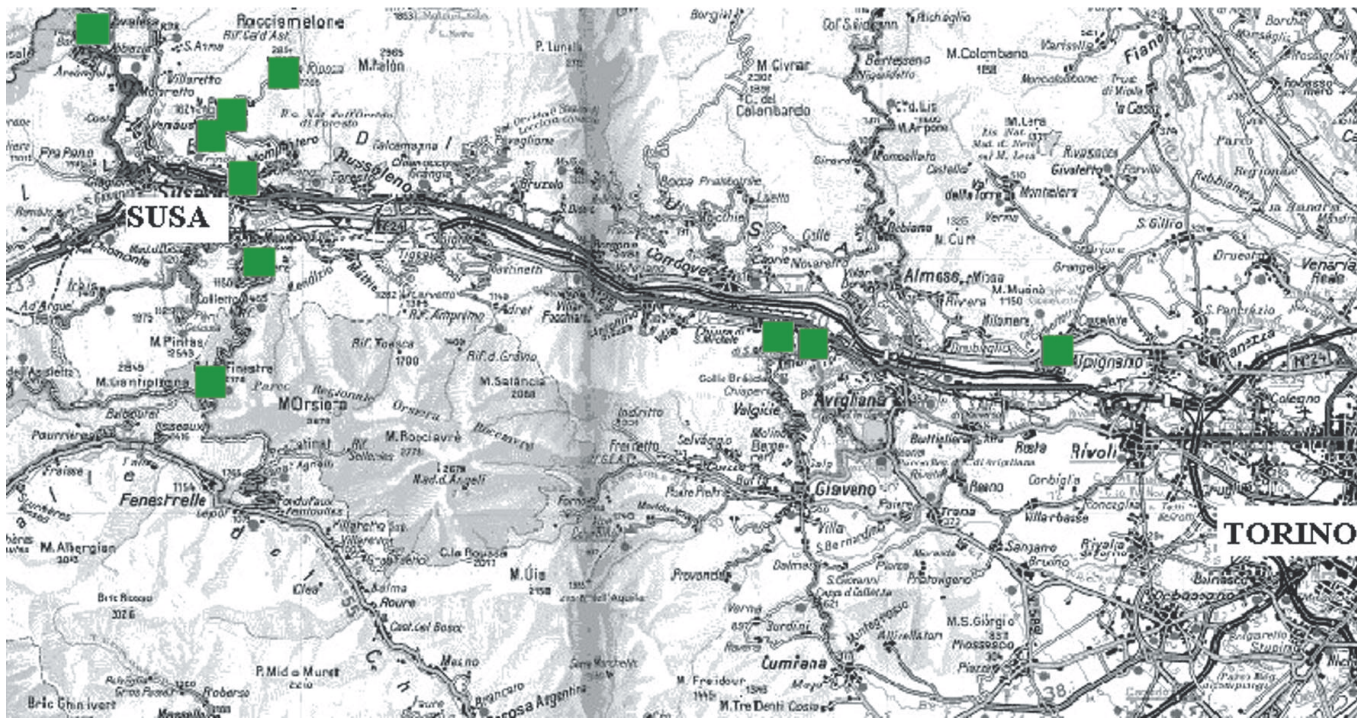
Les symptômes spécifiques, liés à l'impact de l'ozone, ont été recherchés in situ, par examen direct des feuilles à la loupe. Dans les Alpes-Maritimes, en 2001, les dommages identifiés comme spécifiques à l'ozone ont été décrits sur une dizaine de placettes de pins d'Alep et treize placettes de pins cembro. Pour chaque placette, les aiguilles de l'année en cours (C), âgées d'un an (C+1) ou de deux ans (C+2) ont été notées, conformément à la méthode proposée par les centres européens de validation de l'ICP-Forests. Ces aiguilles provenaient de cinq branches ou rameaux prélevés sur le tiers supérieur du houppier de cinq arbres, selon le protocole européen de notation des dégâts d'ozone².

En Italie comme en France, la présence ou l'absence de symptômes ont été recherchées sur l'ensemble de la flore d'une vingtaine de placettes forestières.

Photo 1 :

Capteur passif d'ozone
Photo GIEFS





Analyse microscopique

Les analyses microscopiques ont permis la confirmation, au niveau de la structure foliaire, de la présence des dégâts « ozone-like » sur plusieurs échantillons prélevés et jugés suspects. Une première observation externe par stéréomicroscopie a permis d'apprécier la présence ou l'absence de lésions dues à l'activité d'insectes ou de champignons.

Si la présence d'un agent biotique était détectée, on procédait à son identification et le cas échéant, la fructification des éventuels parasites était favorisée par culture en chambre humide.

En l'absence de facteurs biotiques, la typologie et la localisation des symptômes étaient minutieusement détaillées : présence de chloroses, altérations chromatiques ou nécroses, sur la face supérieure du feuillage, toujours entre les nervures mais n'affectant pas la face inférieure.

Les échantillons étaient comparés aux descriptions fournies par les sites web du C.E.A.M. de Valencia (Espagne) et du W.S.L. de Birmensdorf (Suisse).

Lorsque les symptômes étaient clairement identifiés, des coupes semi-fines étaient réalisées et observées au microscope photonique selon le protocole défini dans les publications du Dr Günthardt-Goerg (GÜNTHARDT-GOERG

et al., 1998 ; GÜNTHARDT-GOERG *et al.*, 1999 ; GÜNTHARDT-GOERG *et al.*, 2000), de l'Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage (W.S.L./F.N.P.) de Birmensdorf. Les dégâts touchaient prioritairement et spécifiquement le parenchyme foliaire et pouvaient être différenciés des lésions dues aux parasites biotiques.

Résultats

Ozone

En Italie, la localisation des sites forestiers et de mesure d'ozone est présentée dans la figure 1. L'analyse des données fournies par les capteurs passifs montrait que les concentrations d'ozone les plus élevées étaient mesurées pendant les mois de juin, juillet et août 2001.

Les valeurs les plus élevées ont été observées près de Turin et dans les vallées proches, sur les crêtes ou les cols, sans qu'il y ait de correspondance entre l'altitude et l'exposition. Les valeurs les plus fortes ont été enregistrées près de placettes éloignées de la vallée de Demonte. Certaines valeurs pourtant ne devaient être considérées que comme indicatives parce que les sites avaient fait l'objet de pillage : Colle dell'Ortica, Colle delle Finestre et Basilique de Superga.

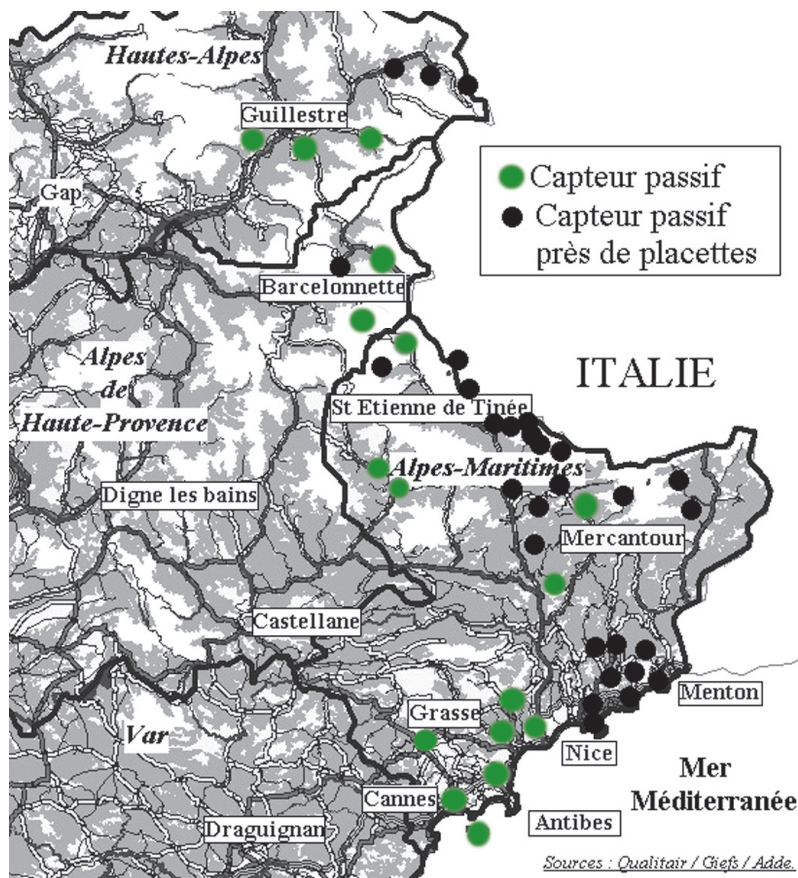
Fig. 1 :
Vallée de la Susa.
Les placettes
sont représentées
par des carrés verts.

Mois	AOT 40 mensuel en ppb.h	Concentration d'ozone (Min) en ppb	Concentration d'ozone (Max) en ppb
Juin	2 010	39.6	50.6
Juillet	2 120	25.3	33.5
Août	3 790	45.2	55.7
Septembre	1 340	35.8	44
AOT 40 de juin à sept.	9260	-	-

Tab. 1 :
Valeurs d'AOT 40, minima et maxima d'ozone pour la station de Ferrere, Italie Juin à septembre 2001

En Italie, les données fournies par l'analyseur concernaient les périodes de juin à septembre 2001. Les valeurs de concentration horaire en ozone permettent de calculer l'AOT 40, exprimé en ppb.h. Il signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 40 ppb et 40 ppb entre 8h et 20h. D'après la directive 2002/3/CE du Parlement Européen et du Conseil du 12 février 2002, le seuil d'AOT 40 pour la forêt est de 10 000 ppb.h cumulés entre avril et septembre et pour la végétation, de 3 000 ppb.h de mai à juillet. Le tableau I présente les valeurs mensuelles d'AOT 40 enregistrées en 2001, ainsi que les concentrations en ozone minimales et maximales. C'est au mois d'août que cette valeur

Fig. 2 :
Situation des capteurs passifs de l'ozone dans les Alpes-Maritimes



d'AOT 40 est la plus élevée et au mois de septembre qu'elle redevient plus faible. En juillet, la dose d'AOT 40 paraît plus faible à cause de données non enregistrées. L'AOT 40 calculé est de 9 260 ppb.h pour trois mois et demi de mesure, très proche du seuil de dommage pour les arbres de 10 000 ppb.h pour 6 mois de végétation.

En France, la situation observée sur cinq mois confirme celle obtenue en Italie. Les moyennes mensuelles sont les plus élevées de juin à août et concernent les zones de crêtes du Parc national du Mercantour (entre 50 et 55 ppb). La figure 2 montre la localisation des sites forestiers et des capteurs passifs dans les Alpes-Maritimes.

L'AOT 40 dépasse très largement pour les quatre sites équipés d'analyseurs, le seuil de dommages possible fixé à 10 000 ppb.h. (Cf. Fig. 3). L'AOT 40 du site de montagne Adréchas est le plus élevé : il atteint en cinq mois la valeur de 32 230 ppb.h, soit plus du triple du seuil de dommages. Le site de Cians et du Jardin botanique suivent d'assez près, avec un AOT 40 deux fois et demi plus élevé que ce seuil. Le site de Brancolar a un AOT 40 un peu plus faible, mais encore nettement au-dessus du seuil.

Endommagement foliaire sur les arbres du Mercantour

Parallèlement aux mesures de l'ozone, l'évaluation du dommage foliaire a été menée sur les zones d'étude. Seuls les pins cembro présentaient suffisamment d'années d'aiguilles pour comprendre et interpréter les dégâts foliaires liés à l'ozone. Les résultats indiquaient en France, que la perte foliaire des pins cembro était très marquée : 78% d'entre eux affichaient un déficit foliaire compris entre 15 et 60%.

Les symptômes spécifiques de l'ozone apparaissaient comme des taches chlorotiques caractéristiques (LANDOLT et LÜTHY-KRAUSE, 1991; MCLEOD *et al.*, 1992; LANGEBARTELS *et al.*, 1997; GÜNTHARDT-GOERG *et al.*, 1999).

Les aiguilles de pins cembro examinées présentaient de petites taches diffuses ("mottling") de couleur vert clair en particulier sur la face supérieure des rameaux et à la pointe des aiguilles. Ces taches chlorotiques étaient plus nettes sur les aiguilles âgées de deux ans (C+2) par rapport à celles de un an (C+1) (Cf. Fig. 4). La différence d'atteinte était significative au seuil de 1%

entre les deux années d'aiguilles. Ces aiguilles C+2 développaient un "mottling" jaune-vert bien marqué (dégât principal), accompagné d'une décoloration caractéristique ("photo-bleaching") également typique des dommages dus à l'ozone (communication personnelle de Mme M.-S.GÜNTHARDT-GOERG et M. P.VOLLENWEIDER).

Il existait également une corrélation plus marquée pour les aiguilles âgées de deux ans entre la perte foliaire et le pourcentage de dégâts spécifiques foliaires (coefficient de corrélation $r^2 = 0,4798$; $p < 0,05$) (Cf. Fig. 5). Même si d'autres facteurs intervenaient dans le déficit foliaire tels que le climat ou la fertilité des sols, l'ozone ne pouvait être écarté dans l'état physiologique général de ces arbres.

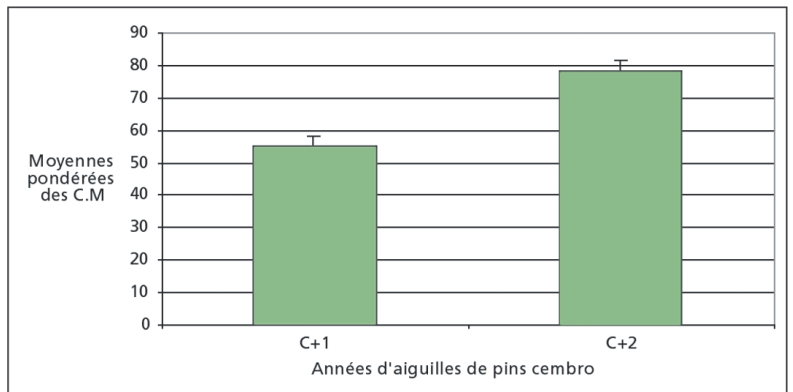
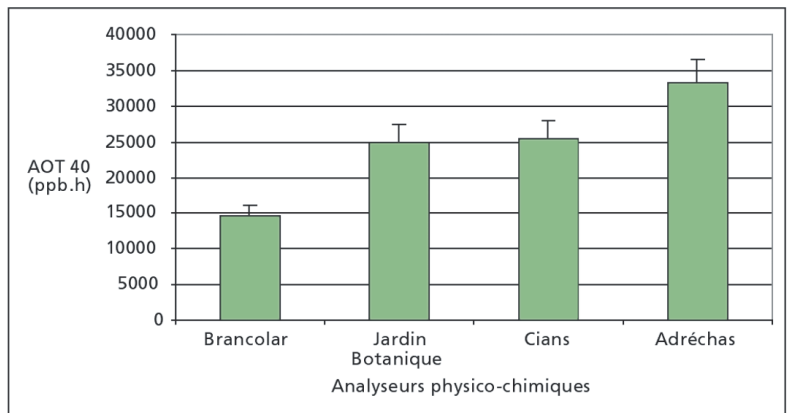
Symptômes d'ozone sur la végétation

Des symptômes d'ozone ont été observés sur la végétation et ont concerné des feuillus et des résineux (Cf. encadré ci-contre).

Les premiers dommages apparaissaient sur la face supérieure des feuilles les plus âgées et les plus exposées à la lumière. De plus, des effets d'ombre et de protection étaient observés sur plusieurs espèces : hêtre, mahonia, pin Weymouth (*Pinus strobus*). Les premiers symptômes se manifestaient, pour certaines espèces, par des chloroses diffuses sur la partie supérieure du feuillage. Des altérations dégénératives, souvent plus développées sur les contours des feuilles, se manifestaient par de petites taches blanc-jaune avec des contours mal définis ou une coloration brun-rouge sur des

Espèces concernées par les symptômes d'ozone

Les frênes (*Fraxinus excelsior*), les aulnes (*Alnus incana*), les sureaux (*Sambucus nigra*, *Sambucus ebulus*), les robiniers (*Robinia pseudoacacia*), les cytises (*Laburnum anagyroides*), les hêtres (*Fagus sylvatica*), les pins (*Pinus strobus*, *Pinus cembra*, *Pinus halepensis*, *Pinus sylvestris*), les noisetiers (*Corylus avellana*), les érables (*Acer pseudoplatanus*), les ailantes (*Ailanthus altissima*), les tulipiers de Virginie (*Liriodendron tulipifera*), les symphorines (*Symphoricarpos*), les mahonias (*Mahonia aquifolium*), les hibiscus (*Hibiscus syriacus*), les pistachiers (*Pistacia lentiscus*), les ricins (*Ricinus communis*), les framboisiers (*Rubus idaeus*), les spirées (*Spiraea arguta*), les viornes (*Viburnum lantana*, *Viburnum tinus*), les épilobes (*Epilobium montanum*), les ampélopsis (*Ampelopsis quinquefolia*) et les actinidias (*Actinidia sinensis* var. *Harvard*)



De haut en bas :

Fig. 3 :

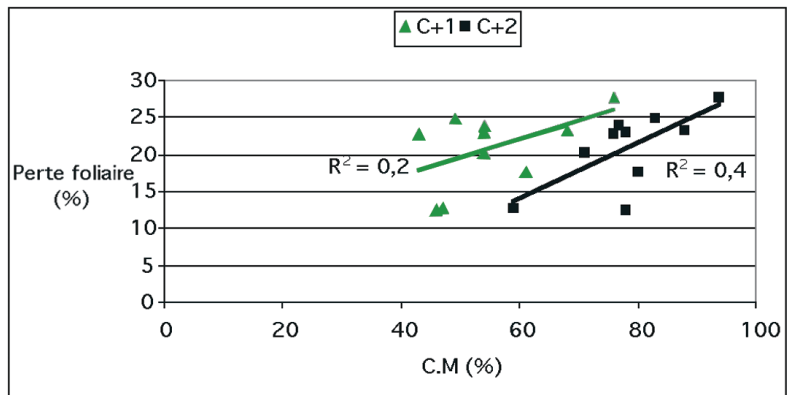
AOT 40 calculé entre mai et septembre 2001 et erreur standard pour les quatre analyseurs physico-chimiques des Alpes-Maritimes

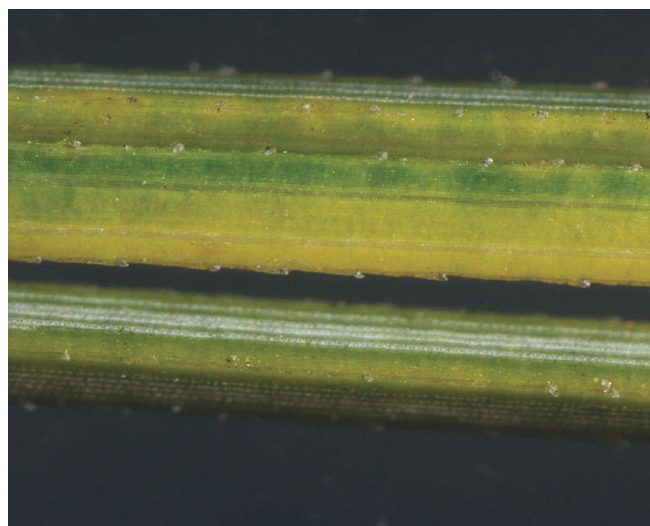
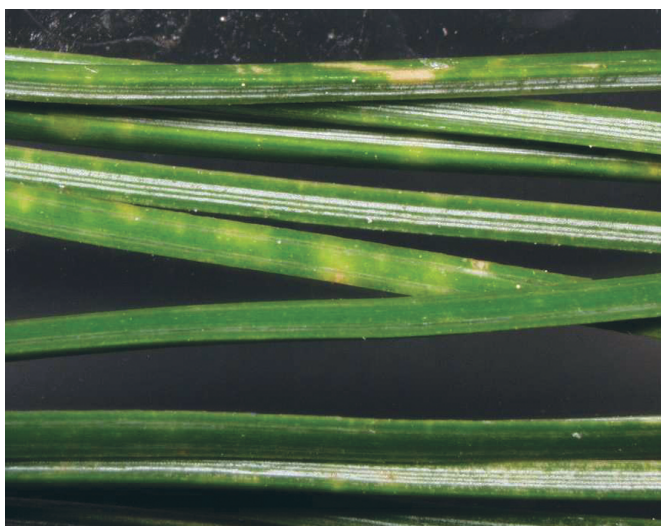
Fig. 4 :

Moyenne des taches chlorotiques (CM en %) et erreur standard sur la moyenne pour les échantillons d'aiguilles C+1 et C+2 de pins cembro en 2001

Fig. 5 :

Comparaison entre la perte foliaire et les taches chlorotiques (CM) observées sur les aiguilles C+1 et C+2 de pins cembro en 2001





Photos 2 et 3 :

Pinus strobus
symptomatique
Photos I.P.L.A.

A gauche : aiguilles avec
des zones décolorées

A droite : coloration
hétérogène des aiguilles.
sur la face supérieure

échantillons de pins, frênes, robiniers, sureaux, cytises, symphorines. En phase finale, les ponctuations s'étaient pour former des nécroses touchant l'ensemble de la surface foliaire (Cf. Photos 2 et 3).

Pour les érables, aulnes, hêtres, ailantes et noisetiers, les altérations liées à l'ozone se retrouvaient principalement le long de la nervure centrale mais aussi sur les bords de la feuille, avec la formation de vastes zones bronzées sur la face supérieure de la feuille.

Pour les viornes, ronces, spirées, épilobes et mahonias (Cf. Photo 4), les dégâts d'ozone se caractérisaient par des rougissements le long des nervures sur les parties du feuillage exposées à la lumière. Cette coloration était due à une accumulation, dans la vacuole, d'anthocyanes : pigments apparaissant souvent lors de phénomènes de dégénérescence de la chlorophylle et/ou lors du processus de vieillissement du feuillage. Cette accumulation s'observait dans toutes les cellules du mésophylle³ palissadique.

3 - Ensemble des tissus
chlorophylliens
d'une feuille

4 - Compression
anormale de cellules
ou d'organites

Analyse microscopique

Les analyses microscopiques d'échantillons foliaires ont mis en évidence quelques modifications de la morphologie des cellules du mésophylle et ont permis de confirmer le diagnostic visuel des dégâts d'ozone. Il apparaît une relation entre l'augmentation progressive des symptômes macroscopiques et l'évolution temporelle des modifications de la structure histologique. Les analyses de fragments de feuilles touchées par des chloroses, (phénomène constituant le premier symptôme d'ozone pour certaines espèces), ont montré des altérations des cellules du mésophylle palissadique, avec une lyse de la chlorophylle qui progressait vers le collapse⁴ des chloroplastes, en l'absence d'altérations sur l'épiderme supérieur ou dans le parenchyme lacuneux. Ceci a déjà été constaté sur les pins cembro du Mercantour (DALSTEIN *et al.*, 2002).

En fait, les cellules dégradées par l'ozone, à l'inverse de celles intactes du mésophylle spongieux présentant une intense couleur verte, affichaient une coloration jaune due à l'élimination de la chlorophylle au profit d'une accumulation de caroténoïdes (Cf. photos 5 et 6). Cette observation a été vérifiée parmi les ailantes, les hibiscus et les érables.

Pour les espèces rougissantes, telles que les viornes et les mahonias, l'accumulation des anthocyanes était nette dans les chloroplastes et précédait le collapse des parois cellulaires.

En septembre, les effets phytotoxiques étaient plus intenses en raison de l'effet cumulatif de l'exposition au polluant. Des processus d'accumulation progressive ont été



Photo 4 :

Mahonia aquifolium
symptomatique.
Rougissement lié
à l'ozone et coloration
verte de la portion
de feuille non exposée
à la lumière
Millerose, Photo I.P.L.A.

observés dans les nécroses foliaires chez le frêne. En phase finale, les modifications cellulaires ont touché l'épiderme supérieur proche de la zone en contact étroit avec le mésophylle palissadique atteint ou le parenchyme dans les cas de nécroses.

Conclusions

Dans toute l'aire géographique transfrontalière de cette étude, les concentrations en ozone ont été très importantes. En Italie comme en France, ces concentrations étaient plus élevées sur les crêtes, quelle que soit leur altitude. Elles étaient plus fortes, d'une part sur les collines près des grandes agglomérations (Turin et Nice) en période de fort ensoleillement (juin, juillet et août), et d'autre part, sur des sites éloignés, dans les massifs montagneux.

Les symptômes observés sur les arbres et la végétation étaient similaires à ceux décrits dans la littérature (M. J. SANZ *et al.*, 2000). Ils ont été repérés sur beaucoup de plantes herbacées, arbustes, arbres ou plantes ornementales cultivées.

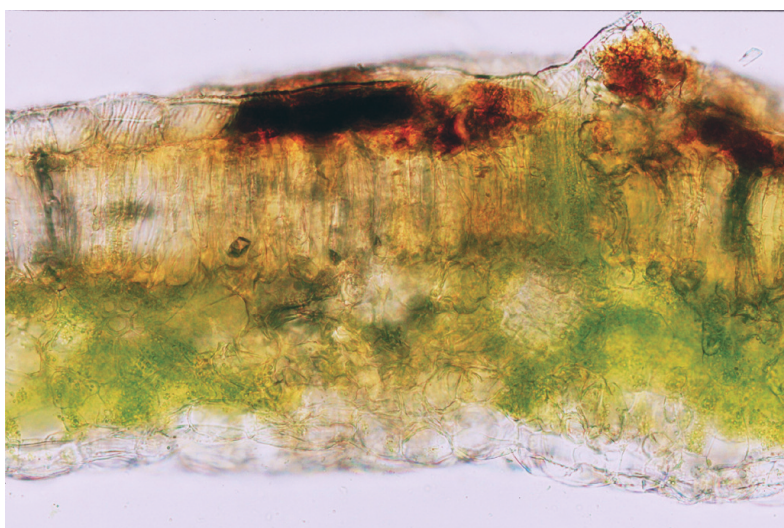
Pour les arbres, notamment les pins cembro du Mercantour, les dommages d'ozone étaient d'autant plus importants que les aiguilles étaient plus âgées, provoquant en conséquence leur chute prématurée, ce qui a pu être montré statistiquement.

Beaucoup d'aspects méritent cependant d'être approfondis, comme par exemple l'évolution temporelle des symptômes, les mécanismes d'action de l'ozone en fonction de la sensibilité des espèces, le métabolisme des plantes en réponse au stress et la perte de croissance des plantes.

**L.D., N.V., F.T.,
A.-M.F., F.S.**

Remerciements

Sont remerciés le réseau Qualitair, M.S.Günthardt-Goerg et P.Vollenweider du WSL/FNP de Birmensdorf (Suisse), M. J. Sanz et V. Calatayud du CEAM de Valencia (Espagne) et P. Natale de l'ARPA de Turin, ainsi que le Parc national du Mercantour pour l'aide technique apportée à l'élaboration de ce travail. Sont remerciés également les organismes financiers : Europe, ministère de l'Environnement, Préfecture des Alpes-Maritimes, Conseil général des Alpes-Maritimes, Région Provence-Alpes Côte d'Azur, Parc national du Mercantour, Etat italien et Région du Piémont.



Photos 5 et 6 :

Ailanthus altissima
symptomatique
Photos IPLA

Ci-dessus :
coupe microscopique
avec des altérations du
mésophylle palissadique
et de l'épiderme
supérieur

Ci-contre :
feuille avec
des symptômes d'ozone

Bibliographie

- Cozzi A., Ferretti M., Innes J. L., (2000) Sintomi fogliari attribuibili ad ozono sulla vegetazione spontanea in Valtellina. Monti e boschi, 3-4: 42-49.
- Dalstein, L., Vollenweider, P., Vas, N., Günthardt-Goerg, M.S. (2002). L'ozone et les conifères du sud-est de la France. For.Med t.XXIII, n°2, pp 105-116.
- Directive ozone 2002/3/CE du Parlement Européen et du Conseil du 12 février 2002 relative à l'ozone dans l'air ambiant. Journal officiel des Communautés européennes L67/14-L67/30 du 9/3/2002.
- Gunthardt-Goerg M. S., McQuattie C. J., (1998) *Betula pendula* : response to ozone in leaf, stem and root cells. In: Tsekos I., Moustakas M. (Eds), Progress in Botanical Research. Proceedings of the 1st Balkan Botanical Congress. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 427-430.
- Gunthardt-Goerg M. S., Maurer S., Bolliger J., Clark A. J., Landolt W., Bucher J. B., (1999) Responses to near-ambient ozone-concentrations of young trees (five deciduous tree species). Water, Air and Soil Pollution, 116: 323-332.
- Gunthardt-Goerg M. S., McQuattie C. J., Maurer S., Frey B., (2000) Visible and microscopic injury in leaves of five deciduous tree species related to current critical Ozone levels. Environmental Pollution, 109 (2000): 489-500.

**Laurence DALSTEIN
Nicolas VAS
GIEFS- Groupe
International
d'Etudes des Forêts
Subalpines
69, av. des
Hespérides
06300 Nice France
Courriel : ldal-
stein@aol.com**

**Francesco
TAGLIAFERRO
Anna-Maria FERRARA
Federica SPAZIANI
IPLA S.p.A : Corso
Casale, 476
10132 Torino Italie
Courriel :
tagliaferro@ipla.org**

- Landolt W., Lüthy-Krause B., (1991) Wirkungen umweltrelevanter Ozon-Konzentrationen auf verschiedene Pflanzen. In: Stark (ed) Luftschadstoffe und Wald – Lufthaushalt, Luftverschmutzung und Waldschäden in der Schweiz Vol. 5. Verlag der Fachvereine Zürich, pp 127-134.
- Langebartels C., Ernst D., Heller W., Lütz C., Payer H.-D., Sandermann H. JR., (1997) Ozone responses of trees : results from controlled chamber exposures at the GSF Phytotron. In Ecological Studies, Vol.127, Sandermann et al., (eds) Forest decline and ozone. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 163-200.
- McLeod A.R., Shaw P.J.A., Holland M.R., (1992) The Liphook forest fumigation project: studies of sulfure dioxide dioxide and ozone effects on coniferous trees. For Ecol Manage 51, pp 121-127.
- Sanz M. J., Millán M. M., (2000) Ozone in the Mediterranean Region: Evidence of Injury to Vegetation (Chapter 10). Forest dynamics in Heavily Polluted Regions (ed. J. L. Inees & J. Oleskin), CAB Internationale Publish.

Résumé

Depuis le début des années 80, dans le sud des Alpes, de part et d'autre de la frontière franco-italienne, plusieurs essences ont présenté des endommagements de leur feuillage avec un déficit foliaire bien marqué. Ces dégâts ont été notés parmi les robiniers (*Robinia pseudoacacia*) italiens du Piémont ou les pins cembro (*Pinus cembra*) français du Mercantour. Des premières études ont montré que la pollution par l'ozone influait sur le mauvais état de santé général de ces peuplements.

A partir de 1999, dans le cadre d'un programme européen Interreg II, il importait d'évaluer l'impact spécifique de la pollution par l'ozone sur les dommages observés.

Les premiers résultats ont révélé des concentrations en ozone élevées, enregistrées au moyen d'analyseurs physico-chimiques et de nombreux capteurs passifs. Parallèlement, l'endommagement foliaire a été estimé sur des placettes forestières près desquelles se trouvaient ces capteurs passifs d'ozone. Ont été recherchés également des symptômes spécifiques de l'ozone sur quelques essences arborées, mais aussi sur toute la végétation de proximité. Des essais de corrélation ont été réalisés entre les niveaux d'ozone et les dégâts foliaires observés et des analyses microscopiques ont permis de confirmer la spécificité des dégâts observés.

Summary

Effects of ozone on forests and vegetation in the French-Italian Alps

Since the early 1980's in the southern Alps on both sides of the French-Italian border, several species have displayed damaged canopy with an obvious lack of leaves. Such damage has been noted on acacia (*Robinia pseudoacacia*) in Piedmont in Italy and on *Pinus cembra* in the Mercantour area in France. The earliest studies showed that ozone pollution contributed to the general poor health of the stands.

Starting in 1999 and within the framework of the European Interreg II programme, an assessment has been under way of the specific impact of ozone pollution on the damaged vegetation.

The first results have revealed high levels of ozone concentrations, as shown by physico-chemical measuring devices and a large number of passive sensors. At the same time, leaf damage has been assessed in the forest plots located in the vicinity of the passive ozone sensors. Also, there has been an attempt to identify the symptoms specific to the ozone effect on some tree species as well as on the surrounding vegetation. Trials have been carried out on the correlation between the level of ozone and the observed leaf damage. Microscope examination has confirmed the specificity of the damage observed.

Riassunto

Dall'inizio degli anni '80, al Sud delle Alpi, da entrambe le parti della frontiera italo - francese, molte specie forestali hanno presentato danni alla loro chioma con una defogliazione alquanto accentuata. Questi danni sono stati notati sulle robinie (*Robinia pseudoacacia*) italiane in Piemonte, o i pini cembri (*Pinus cembra*) francesi del Mercantour. Dei primi studi hanno dimostrato che l'inquinamento da ozono influiva sul precario stato di salute generale di questi popolamenti.

A partire dal 1999, nell'ambito di un programma europeo Interreg II, si è cercato di valutare l'impatto specifico dell'inquinamento da ozono sui danni osservati.

I primi risultati hanno rivelato concentrazioni di ozono elevate, registrate per mezzo di analizzatori in continuo e di numerosi campionatori passivi. In parallelo il danno fogliare è stato stimato su delle parcelle forestali presso le quali erano posizionati i campionatori passivi d'ozono. Sono stati inoltre ricercati i sintomi tipici dell'ozono sulle essenze arboree ed anche su tutta la vegetazione in prossimità. Delle verifiche di correlazione sono state realizzate fra i livelli di ozono ed i danni fogliari osservati e delle analisi microscopiche hanno permesso di confermare la specificità dei sintomi osservati.