

Effets de l'ozone sur quelques peuplements forestiers du réseau RENECOFOR (Office national des forêts)

par Laurence DALSTEIN, Erwin ULRICH,
Nicolas VAS et Sébastien CECCHINI

***Depuis 2001, le GIEFS et l'ONF
s'associent pour repérer
la présence de symptômes d'ozone
sur une quarantaine de placettes
forestières du réseau
RENECOFOR, en France.
Cet article présente les résultats
des observations menées entre
2001 et 2005 sur les placettes des
régions méditerranéennes. Les
dégâts d'ozone ont été repérés sur
l'ensemble des sites de l'étude.***

Introduction

Depuis plus de dix ans, le Groupe international d'études des forêts sud-européennes (GIEFS) étudie les effets de l'ozone en forêt méditerranéenne. A partir de 2001, le GIEFS et l'Office national des forêts (ONF) se sont associés pour répertorier les symptômes d'ozone sur 36 des 102 placettes forestières du réseau RENECOFOR (Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers). Neuf d'entre elles sont situées dans le sud de la France. La collaboration entre le GIEFS et l'ONF a permis, dans le cadre des règlements européens n°3528/86 et 2152/2003 (Forest Focus) de tester et d'approfondir les méthodes proposées par le PIC « Forêt » (Convention de Genève sur la pollution trans-frontière à longue distance) sur une sélection de sites du réseau RENECOFOR. Les résultats ont fait l'objet d'une synthèse (ULRICH *et al.*, 2006).

Rappel sur la formation de l'ozone

Il faut bien différencier l'ozone contenu dans la stratosphère (entre 12 et 50 km d'altitude) et celui présent dans la troposphère (depuis le sol et jusqu'à 12 km). La limite entre ces deux couches s'appelle la tropopause. Il y circule des vents violents qui limitent très fortement les échanges entre couches. L'ozone stratosphérique protège la vie sur la terre en filtrant une partie des rayons ultraviolets. L'ozone de la troposphère devrait être naturellement faible. Cependant, il s'en forme dans l'air chargé en polluants dit « primaires » tels que les oxydes d'azote qui sont produits par la combustion des carburants fossiles (automobiles, chauffage, etc.) et les composés organiques volatils provenant des émissions naturelles et humaines (automobiles, raffineries, combustion des déchets, etc.). Ces réactions chimiques complexes sont actionnées par le rayonnement solaire.

Entre mai et septembre, le bassin méditerranéen français est particulièrement concerné par des épisodes de forte pollution à l'ozone troposphérique. Les masses d'air, en balayant les zones urbaines ou industrielles s'enrichissent en polluants « primaires » qui sont transportés sur de longues distances et donnent naissance au cours de leur déplacement à l'ozone (MILLAN *et al.*, 2000).

La Méditerranée est une mer entourée de montagnes. Cette caractéristique favorise la formation de brises qui prennent place dans les processus de re-circulation de masses d'air et dans la formation de couches réservoirs riches en ozone.

Pendant la journée, les brises transportent les polluants depuis les plaines ou la côte (où sont situées les principales sources d'émissions : activités urbaines, transport, industries), vers l'intérieur des terres et en

montagne, sur des centaines de kilomètres. Un courant de convection peut être formé avec des masses d'air situées en altitude redescendant vers la plaine ou la côte y laissant un processus résiduel : stagnation de couches polluées. Le soir, l'ensoleillement diminuant, le phénomène de brise s'inverse et elles redescendent vers les plaines et la côte (Cf. Fig.1).

Ozone et symptômes observés sur la végétation

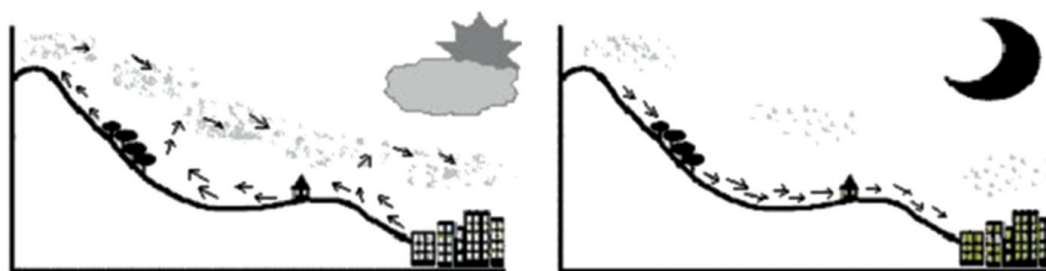
Les concentrations importantes en ozone engendrent des symptômes spécifiques sur les arbres et arbustes, mais aussi sur la végétation herbacée de clairière. Les précédentes observations du GIEFS ont permis de mettre en évidence la forte sensibilité de certaines espèces arborées (DALSTEIN *et al.*, 2002 ; DALSTEIN *et al.*, 2004 ; DALSTEIN et VAS, 2005 ; DALSTEIN *et al.*, 2005 a, b, c ; ULRICH *et al.*, 2005; ULRICH *et al.*, 2006).

Parmi les conifères, sont concernés principalement le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le pin maritime (*Pinus pinaster*), les pins noirs (laricio) et surtout le pin cembro (*Pinus cembra*).

Parmi les feuillus, des symptômes visibles ont été repérés notamment sur le hêtre (*Fagus sylvatica*).

Cet article présente les résultats succincts de symptômes spécifiques d'ozone sur les essences des placettes permanentes d'observation du réseau RENECOFOR. Toutes les placettes citées sont situées en régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon et Corse (Cf. Fig. 2). Les essences étudiées concernent : les hêtres de la forêt domaniale de l'Aigoual (Gard) et ceux de la forêt domaniale du Jabron (Alpes-de-Haute-Provence), les pins sylvestres

Fig. 1 :
Evolution des brises de plaines en journée (à gauche) et en soirée (à droite)



(*Pinus sylvestris*) situés dans la forêt communale du Fugeret (Alpes-de-Haute-Provence), les sapins pectinés (*Abies alba*) des forêts domaniales de Boscodon (Hautes-Alpes) et de Callong-Mirailles (Aude), les douglas (*Pseudotsuga menziesii*) de la forêt domaniale des Avants-Monts (Hérault), les épicéas communs (*Picea abies*) de la forêt domaniale d'Espinouse (Hérault), les pins maritimes de la forêt de Zonza (Corse) et les pins laricio de Corse (*Pinus nigra laricio corsicana*) de la forêt d'Aïtone (Corse).

Les observations ont également porté sur des clairières situées à proximité de ces peuplements afin de repérer les dommages induits spécifiquement par l'ozone sur la végétation hors milieu forestier.

Technique de mesure de l'ozone

Les mesures de concentration d'ozone ont été réalisées près de placettes forestières mais hors couvert forestier, à l'aide de capteurs passifs (Laboratoire IVL – Suède), installés dans un abri à 3 m au dessus du sol (Cf. Photo 1).

Chaque capteur possède une capsule dont l'extrémité fermée contenait un filtre imprégné d'une solution absorbant l'ozone. L'analyse a été réalisée par chromatographie ionique. Cette technique de mesure a été validée en 2000 (DALSTEIN *et al.*, 2001).

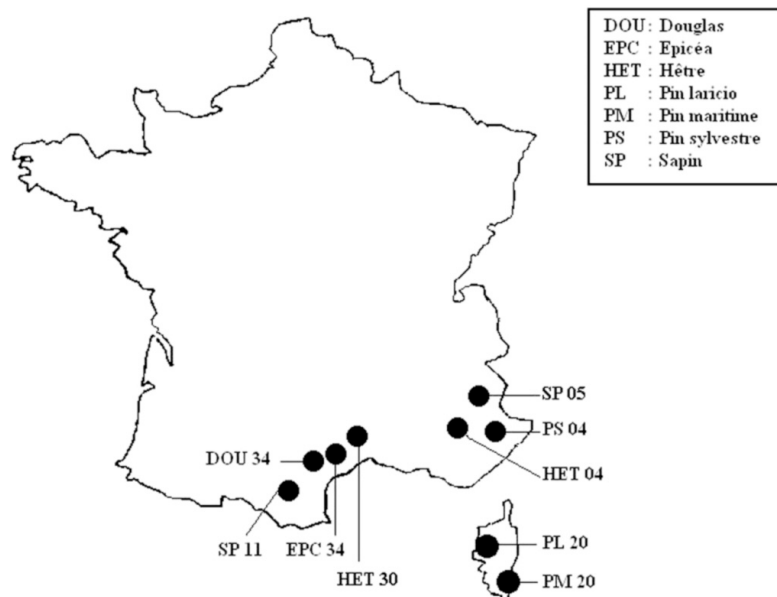


Fig. 2 :

Localisation des 9 placettes forestières observées faisant partie des 102 placettes du réseau RENECOFOR

Technique d'évaluation des symptômes

La technique d'évaluation symptomatologique a suivi le protocole européen (PCC, 1998). Pour les conifères et 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. Ces aiguilles provenaient de cinq branches ou rameaux prélevés sur le tiers supérieur du houppier de cinq arbres.

Pour les feuillus, le même protocole a été appliqué.

Photos 1a et b :

Abri de mesure et site de mesure de l'ozone hors forêt, placette SP 05 au Boscodon.



Zone d'observation de la végétation autour des placettes

Autour de chaque placette, une zone de clairière a été choisie sur un site ensoleillé, dans un rayon de 3 km au maximum de la placette à plus ou moins 100 m d'altitude de celle-ci.

Dans un premier temps, les arbres, arbustes et plantes vivaces les plus fréquents de la placette ont été répertoriés selon le protocole européen de l'ICP-Forests. Les symptômes bien marqués et repérés sur la végétation naturelle ont été photographiés et échantillonnés pour la réalisation d'un herbier.

Les symptômes ont ensuite été expertisés par Mme M.S. Günthardt-Goerg et M. P. Vollenweider du centre de validation de Birmensdorf en Suisse (WSL), afin de les distinguer d'autres symptômes biotiques ou abiotiques.

Dans un deuxième temps, afin d'expertiser de manière plus approfondie les symptômes, quelques échantillons typiques ont été analysés en microscopie. En effet, l'expérience a montré que les observations macroscopiques (visibles à l'œil nu) sur le terrain conduisent à surestimer le nombre d'espèces atteintes de symptômes d'ozone. La raison de cette surestimation réside dans le fait que d'autres

causes (biotiques ou abiotiques) peuvent provoquer des symptômes assez semblables à ceux d'ozone.

Un nouveau procédé établi à la fin de l'année 2004 par le groupe européen du PIC-Forêt (PCC, 2006), permet de mieux quantifier le nombre de plantes présentant d'éventuels symptômes d'ozone sur une zone géographique bien définie. Pour une première évaluation de cette nouvelle méthode, la placette HET 30 a été sélectionnée : la lisière de 66 m de long a été découpée en 33 quadrats de 2x1m. Pour une quantification des symptômes avec une marge d'erreur de 20%, 13 quadrats ont été tirés au sort et la végétation de chacun d'entre eux a été notée et observée.

Résultats des observations

Les sites des Alpes-de-Haute-Provence (PS 04, HET 04) présentent les taux d'ozone les plus élevés (Cf. Tab I). C'est toujours dans les régions montagneuses que les niveaux de ce polluant sont élevés : cas du Mont-Aigoual HET 30 et de la montagne de Callong-Mirailles SP11.

Pour les conifères

L'ozone s'avère être une des causes du dépérissement des pinèdes méditerranéennes, s'ajoutant à la cause principale de

Tab. I :

Résultats des niveaux d'ozone et des symptômes spécifiques foliaires sur les placettes forestières RENECOFOR et les zones de clairière à proximité.

Placette	Altitude (m)	Exposition	Pente	Date d'observation	Symptômes d'ozone confirmés par le WSL sur les arbres de la placette	Symptômes d'ozone confirmés par le WSL repérés sur au moins une plante des zones de clairière	Concentrations d'ozone (ppb)
HET 30	1400	Sud-Ouest	25%	27/08/2001	-	X	43,5
SP 11	950	Nord	40%	28/08/2001	-	X	42,5
PM 20	850	Nord-Ouest	10%	10/09/2001	X	X	-
PL 20	1100	Nord-Ouest	40%	11/09/2001	X	X	43
SP 05	1360	Nord-Est	30%	24/09/2001	-	X	38,5
HET 30	1400	Sud-Ouest	25%	16/08/2004	X	X	40,5
PL 20	1100	Nord-Ouest	40%	19/08/2004	X	X	40
PM 20	850	Nord-Ouest	10%	20/08/2004	X	X	-
HET 04	1300	Nord	50%	21/07/2005	-	X	-
PS 04	1670	Sud	20%	22/07/2005	X	X	-
HET 30	1400	Sud-Ouest	25%	29/08/2005	X	X	48
PS 04	1670	Sud	20%	31/07/2006	X	X	55,8
HET 04	1300	Nord	50%	31/07/2006	-	X	49
SP 05	1360	Nord-Est	30%	01/08/2006	-	X	42,5
HET 30	1400	Sud-Ouest	25%	28/08/2006	X	X	48,1
EPC 34	1020	Plat	10%	04/09/2006	-	X	-
DOU 34	700	Sud	15%	05/09/2006	-	X	-

ces dernières années : la tendance à la multiplication des périodes de sécheresse. La sécheresse est responsable du jaunissement, de la perte foliaire ou de la mortalité de certaines essences dont le pin sylvestre (LE MEIGNEN et MICAS, 2008 ; VENNETIER *et al*, 2005).

Les symptômes d'ozone visibles sur les aiguilles des conifères se manifestent soit par des taches chlorotiques, sous forme de points blancs-jaunes ou de marbrures à contour diffus (*mottling*), soit par des décolorations spécifiques des aiguilles exposées à la lumière (*photobleaching*).

Pour le pin sylvestre de la placette des Alpes-de-Haute-Provence, des symptômes spécifiques d'ozone ont été notés sur site et validés par microscope. Les aiguilles âgées d'un an (C+1) et âgées de deux ans (C+2) ont présenté des symptômes d'ozone sous forme d'une décoloration spécifique sur les faces exposées à la lumière (*photobleaching*) (Cf. Photo 2). Les analyses microscopiques ont confirmé ce diagnostic.

En Corse, les aiguilles de pin laricio ont présenté des symptômes confirmés d'ozone sous forme de marbrures (*mottling*) et de ponctuations spécifiques en 2001 et 2004 (Cf. Photo 3). Des symptômes ont également été repérés et validés sur le pin maritime de la forêt de Zonza (PM20).

Pour les sapins, les douglas ou les épicéas, aucun symptôme confirmé d'ozone n'a été mis en évidence, ceci quels que soient les sites, les niveaux d'ozone ou les années de prélèvement. Il semble que ces arbres soient plus résistants à l'impact de la pollution par l'ozone.

Pour les feuillus

Les symptômes d'ozone s'expriment différemment selon les essences : colorations « bronzes », ponctuations brun-rouge (*stippling*) ou violacée.

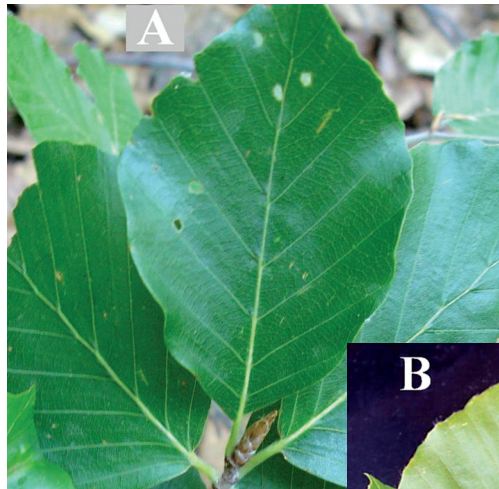
Les hêtres échantillonnés sur la placette de la forêt de Jabron (HET 04) n'ont pas montré de symptômes spécifiques d'ozone. En revanche, depuis 2004, les symptômes repérés au Mont Aigoual ont été confirmés (Cf. Photos 4). Cependant, pour les deux sites et pour toutes les années, les jeunes hêtres bien éclairés situés en bordure des peuplements ont toujours présenté des atteintes caractéristiques d'ozone : bronzage marqué du feuillage avec des ponctuations brunes. Cette différence s'explique par la difficulté de prélèvement sur le tiers supérieur



Photo 2 (ci-contre) :
Aiguilles de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) avec présence de symptômes d'ozone confirmés sous forme de « *mottling* ». Placette RENECOFOR PS 04



Photo 3 (ci-dessus) :
Aiguilles C+2 de pin laricio de Corse (*Pinus nigra* Arn. subsp. *Laricio* (Poir.) Maire var. *corsicana* (Loud.) Hyl.) présentant des symptômes confirmés d'ozone. Placette RENECOFOR PL 20.



Photos 4 a, b et c :
Evolution des symptômes d'ozone sur feuilles de hêtre (*Fagus sylvatica*). Placette RENECOFOR HET 30.

A : Feuillage asymptotique
B : Légères décolorations et effet d'ombre
C : Décoloration « bronze » avec ponctuations noires (*stippling*)

Photo 5 :
Feuille d'érable sycomore
(*Acer pseudoplatanus*)
avec ponctuations
typiques de symptômes
d'ozone.
Placette RENECOFOR
HET 04



Photo 6 :
Symptômes confirmés
d'ozone sur feuilles
de noisetier
(*Corylus avellana*)



Photo 7 :
Stippling et effet
d'ombre sur feuilles de
hêtre (*Fagus sylvatica*).
Placette RENECOFOR
HET 30



du houppier et par l'obscurité liée à la fermeture du peuplement.

Pour l'ensemble de la végétation naturelle

C'est en Corse (PL 20 et PM 20) et au Mont Aigoual (HET 30) que le plus grand nombre de plantes présentant des symptômes d'ozone a été enregistré (Cf. Fig. 3).

Des symptômes d'ozone ont été validés sur différentes espèces : érable sycomore (Cf. Photo 5), noisetier (Cf. Photo 6), hêtre (Cf. Photo 7), frêne (Cf. Photo 8), sorbier des oiseaux (Cf. Photo 9) et sureau noir (Cf. Photo 10).

Au Mont Aigoual, l'application de la nouvelle méthode de notation des clairières indique que, pour tous les échantillons prélevés et en considérant une marge d'erreur de 20%, 100% des hêtres présentaient des symptômes d'ozone. Cette méthode quantitative permet de montrer la gravité des atteintes et la forte sensibilité de cette espèce sur ce site.

Conclusion

De manière générale, c'est sur la végétation naturelle des sites de clairière, que les effets de l'ozone sont plus facilement visibles. Ils s'expriment de façon différente selon les

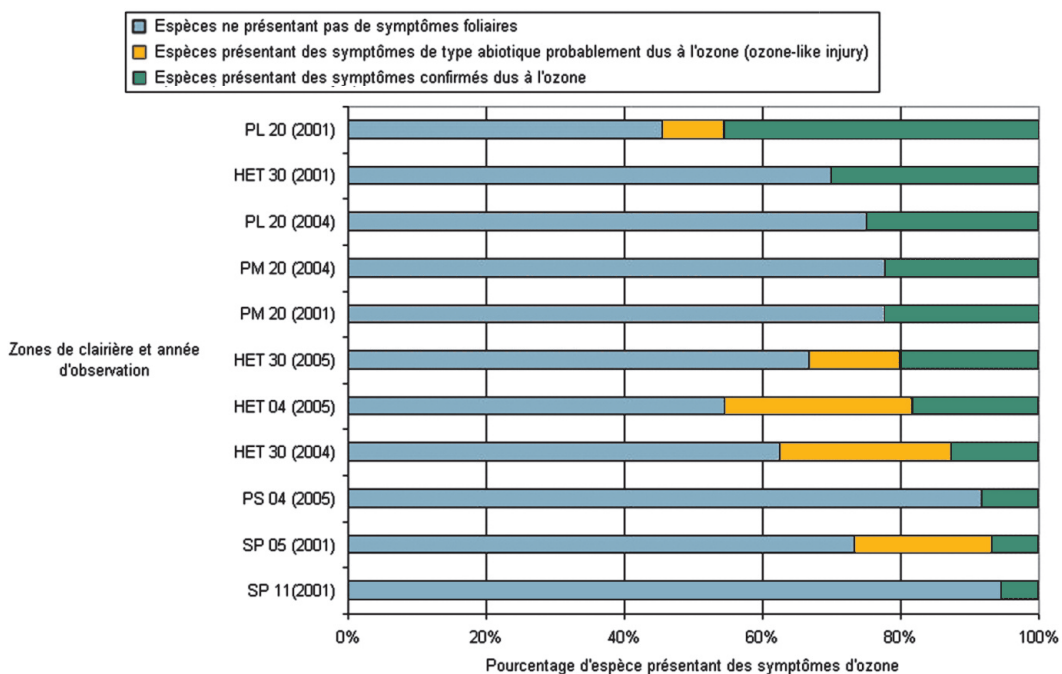


Fig. 3 :
Pourcentage d'espèces
présentant
des symptômes d'ozone
parmi les zones
de clairière et selon
les années d'observation.

essences, cependant, certaines caractéristiques sont communes à toutes les espèces :

– les premiers symptômes sont visibles sur la face supérieure des feuilles les plus âgées et toujours bien exposées à la lumière ;

– les nervures ne présentent jamais de symptômes ;

– les effets d'ombre et de protection sont visibles : les parties recouvertes du feuillage et non exposées à la lumière ne présentent jamais de symptômes.

Pour les espèces qui rougissent de manière naturelle avec l'âge (cornouillers, framboisiers...), les symptômes généralement observés sont difficilement incriminables à l'ozone seul. Ils ne peuvent être validés que s'ils sont très précoces dans la saison et que si d'autres plantes sensibles, situées à proximité, présentent elles-mêmes des symptômes confirmés microscopiquement par les centres européens de validation.

Le WSL de Birmensdorf en Suisse (M.S. Günthardt-Goerg et P. Vollenweider) a été désigné pour la France, comme centre référent de validation des symptômes d'ozone. Ce laboratoire a ainsi permis de rendre les observations de terrain plus sûres et d'ajouter une nuance à ces examens qui sont toujours entachés d'une certaine incertitude, malgré le plus grand soin apporté par les observateurs.

L.D., E.U., N.V., S.C.

Bibliographie

Dalstein L., Teton S., Cottureau C., Vas N., (2001). – Niveaux d'ozone et endommagement foliaire sur quelques essences méditerranéennes. *Pollution Atmosphérique*, n°170, pp 263-277.

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.

Dalstein L., Vas N., Ulrich E., Cecchini S., (2004). Première approche de la dégradation de la forêt française en relation avec l'ozone. *Environnement et Technique* 236 : pp 42-44.

Dalstein L., Vas N., (2005). Ozone concentrations and ozone-induced symptoms on coastal and alpine Mediterranean pines in southern France. *Water, Air, and Soil Pollution* 160 : pp 181-195.

Dalstein-Richier L., Mangin A., Carrega P., Gueguen C., Vas N., Sanchez O., Theodore B., Berolo W. (2005). Etat des forêts d'altitude en relation avec la pollution par l'ozone dans la région niçoise. *Pollution atmosphérique*, n° 188, pp 503-519.



Photo 8 :
Symptômes d'ozone sur feuilles de frêne (*Fraxinus excelsior*). Placette RENECOFOR SP 05



Photo 9 :
Feuilles de sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia*) présentant des symptômes d'ozone. Placette RENECOFOR SP 05



Photo 10 :
Feuilles de sureau noir (*Sambucus nigra*) présentant des symptômes d'ozone. Placette RENECOFOR HET 30

Dalstein L., Vas N., (2005). FORMEDOZONE : Consolidation du suivi et des effets de l'ozone sur la végétation méditerranéenne pour la sauvegarde de l'environnement et la sensibilisation des acteurs publics. *Bulletin de l'AIFM* - n°16, pp 2-3.

Dalstein L., Vas N., Tagliaferro F., Ferrara AM., (2005). Effets de l'ozone sur la forêt et la végétation dans les Alpes franco-italiennes. *For. Med* t.XXVI, n°2, pp 149-156.

Le Meignen P., Micas L. (2008). Bilan des dépérissements forestiers dans les Alpes-de-Haute-Provence. *For. Med* t.XXIX, n°2, pp 177-182.

Millan M.M., Mantilla E, Salvador R, Carratala A, Sanz M.J. (2000). Ozone cycles in the western mediterranean basin: interpretation of monitoring data in complex coastal terrain. *American meteorological society* : 487-508.

PCC (Programme Coordinating Center). (2006). International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. – Manual on methods and cri-

Laurence DALSTEIN
Nicolas VAS
Groupe international
d'études des forêts
sud-européennes
69 av. des Hespérides
06300 Nice
ldalstein@aol.com
vasnicolas@aol.com

Erwin ULRICH
Sébastien CECCHINI
Office national
des forêts
Direction technique
Boulevard
de Constance
77300 Fontainebleau
erwin.ulrich@onf.fr
sebastien.cecchini@onf.fr

Remerciements

Sont remerciés : la Direction technique de l'Office national des forêts (Fontainebleau), les agents forestiers des placettes RENECOFOR, le laboratoire IVL de Suède, Mme M.S. Günthardt-Goerg et M. P.Vollenweider du WSL/FNP de Birmensdorf en Suisse.

Sont remerciés également les organismes financiers : la Commission européenne (DG agriculture, règlement 3528/ 86 et DG environnement, règlement Forest Focus n° 2 1 5 2 / 2 0 0 3), l'Europe (Fonds FEDER des projets Interreg IIIB Formedozone et Vegetpollozone), l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME, convention n°0462C0018), le Conseil général des Alpes-Maritimes et le Parc national du

tertia for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, BFH, Hamburg, Germany. Site web: <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>

Ulrich E., Cecchini S., Dalstein L., Vas N., Günthardt-Goerg M.S., Vollenweider P., Karlsson G.P., (2005). Concentrations d'ozone en zone forestière et symptômes d'ozone observés sur la végétation dans le réseau Renécofor. *RenDez-Vous techniques* n°10, ONF, pp 3-11.

Ulrich E., Dalstein L., Günthardt-Goerg M.S., Vollenweider P., Cecchini S., Vas N., Sjöberg K., Skarman T., Karlsson G.P., (2006). Effets de l'ozone sur la végétation, concentrations d'ozone

(2000-2002) et symptômes d'ozone sur la végétation forestière (2001-2003). Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique, Département Recherche, ISBN 2-84207-300-2, 126 p.

Vennetier M., Vila B., Liang E., Guibal F., Ripert C., Chandioux O. (2005) Impact du changement climatique sur la productivité forestière et le déplacement d'une limite bioclimatique en région méditerranéenne française. *Ingénieries*, n°44, pp. 49-61.

Résumé

Depuis 2001, le GIEFS et l'ONF s'associent pour repérer la présence de symptômes d'ozone sur une quarantaine de placettes forestières du réseau RENECOFOR (réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers) réparties sur le territoire national français. Après un bref rappel sur la formation de l'ozone, cet article présente les résultats des observations menées par le GIEFS entre 2001 et 2005 sur les placettes RENECOFOR des Régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon et Corse. Les dégâts d'ozone ont été repérés sur l'ensemble des sites de l'étude. Parmi les arbres, ce sont les pins et les hêtres qui ont montré les atteintes les plus sévères : ces espèces sont les plus sensibles. L'ozone est un co-facteur du dépérissement des pinèdes méditerranéennes avec l'association de la sécheresse et de l'acidification des sols. L'ensemble de la végétation située dans les clairières proches de ces placettes a également été surveillé. Des dégâts d'ozone ont été repérés sur la totalité des sites, notamment en Corse et dans le Gard.

Summary

Effect of ozone on some forest stands in the RENECOFOR network (French National Forestry Commission)

Since 2001, the GIEFS (international study group for Southern European forests) and the ONF (French National Forestry Commission) have worked together to pinpoint the presence of ozone-related symptoms in some forty forest sites belonging to the RENECOFOR network (national network for long-term monitoring of forestry ecosystems) that covers the whole country. The article, after a short account of how ozone is formed, presents the results of observations carried out between 2001-2005 by the GIEFS at RENECOFOR sites in the French regions of Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon and Corsica. Ozone damage was recorded at all the sites studied. Of the tree species observed, pines and beeches displayed the severest effects ; they are the most sensitive species. Ozone is a co-factor, along with drought and soil acidification, in the decline of Mediterranean pine forests. Overall plant cover in open/clear-cut sites near to the Network stands were also monitored. Ozone damage was observed at every site studied, especially in the Gard *département* and in Corsica.

Riassunto

Effetti dell'ozono su alcuni popolamenti forestali della rete RENECOFOR (ufficio nazionale delle foreste)

Dal 2001, il GIEFS e l'ONF si associano per individuare la presenza di sintomi di ozono su una quarantina di piazzette forestali della rete RENECOFOR (rete nazionale di seguito a termine lungo degli ecosistemi forestali) ripartite sul territorio nazionale francese. Dopo un breve richiamo sulla formazione dell'ozono, questo articolo presenta i risultati delle osservazioni condotte dal GIEFS tra il 2001 e il 2005 sulle piazzette RENECOFOR delle regioni Provenza, Alpi, Costa Azzurra, Languadocca-Rossiglione e Corsica. I danni da ozono sono stati individuati sull'insieme delle zone dello studio. Tra gli alberi, sono i pini e i faggi che hanno mostrato i colpi più severi : queste specie sono le più sensibili. L'ozono è un co-fattore del deperimento delle pinete mediterranee coll'associazione della siccità e dell'acidificazione dei suoli. L'insieme della vegetazione situata nelle radure vicine di queste piazzette è stata ugualmente sorvegliata. Danni sono stati individuati sulla totalità dei siti, in particolare in Corsica e nel Gard.