

L'ozone (troposphérique et stratosphérique) et la santé des arbres forestiers

Recherches effectuées à l'INRA - Nancy

Ozone (tropospheric and stratospheric) and the health state of forest trees

par Jean-Pierre GARREC (*)

RÉSUMÉ

L'augmentation de l'ozone troposphérique ainsi que la baisse de l'ozone stratosphérique (avec un accroissement du flux d'UV-B) prévues au cours du siècle prochain risquent d'entraîner de graves perturbations au niveau de la santé des arbres forestiers.

Afin de connaître dès maintenant l'impact de ces modifications de leur environnement atmosphérique, des arbres sont soumis *in situ* dans des dispositifs spéciaux aux futurs climats de pollution. Ces expériences viennent de démarrer et les caractéristiques des différents dispositifs utilisés sont donnés.

ABSTRACT

The increasing level of tropospheric ozone and the decrease of stratospheric ozone (with higher flux of UV-B) which is likely to occur during the next century, may induce large perturbations in the health state of forest trees.

To know as quickly as possible the impact of these modifications of their atmospheric environment, trees are exposed « in situ » in special installations to the future pollution climates.

These experiments are just starting, and the characteristics of the different installations used are given.

Introduction

Les recherches effectuées en France pour comprendre les causes du phénomène du dépérissement des forêts qui est d'abord apparu dans les massifs de l'Est de la France autour des années 1980, ont montré que si la pollution atmosphérique intervenait, le facteur déclenchant était surtout à rechercher du côté des stress climatiques naturels (sécheresse). Au niveau de la pollution atmosphérique, les recherches ont montré une nette influence des pluies et des brouillards acides, mais elles ont surtout mis en évidence qu'il fallait de plus en plus prendre en compte les effets de l'ozone troposphérique sur les forêts de nos régions [1].

L'ozone troposphérique est en effet un polluant atmosphérique fortement phytotoxique, et en constante augmentation actuellement avec le développement du trafic automobile et des transports. Dans l'hémisphère Nord, ce gaz augmente de l'ordre de 1,6 % par an, et on estime que sa concentration aura doublé au cours du siècle prochain [2].

Parallèlement à l'ozone troposphérique, l'activité humaine a entraîné l'augmentation rapide d'autres gaz à l'état de traces dans l'atmosphère terrestre comme le N₂O (l'oxyde nitreux provenant de l'utilisation croissante d'engrais azotés), les CFC (les chlorofluorocarbures utilisés comme propulseurs des aérosols, mais aussi en réfrigération et en climatisation) [3].

Les CFC et le N₂O, gaz dont la durée de vie dans l'atmosphère est de l'ordre de 150 ans et dont l'augmentation annuelle des concentrations est actuellement respectivement de 7 % et de 0,3 %, induisent une diminution de la couche protectrice d'ozone stratosphérique (le trou d'ozone).

Comme l'ozone stratosphérique absorbe la plus grande partie des radiations ultraviolettes (dans la bande des 280-320 nm ou UV-B), sa diminution entraîne une augmentation du flux de ces UV-B atteignant le sol. On admet qu'approximativement une diminution de 1 % de l'ozone stratosphérique entraîne une augmentation de 2 % du flux d'UV-B [4].

En raison des particularités de la circulation atmosphérique (vortex polaire), la diminution de l'ozone stratosphérique s'observe avant tout au niveau de l'Antarctique. Mais ce phénomène existe maintenant, dans une moindre mesure, au niveau

(*) INRA - Centre de Recherches Forestières de Nancy, Laboratoire Pollution Atmosphérique, 54280 Champenoux.

de l'Arctique et de tout l'hémisphère Nord : une baisse de 1,7 % à 3 % a été observée entre 1969 et 1986. Des mesures récentes ont montré qu'au-dessus des zones alpines d'Europe, le rapport actuel du flux d'UV-B, c'est-à-dire le rapport UV-B sur irradiance totale augmente de 1,1 % par an [5].

Dans le cadre des changements climatiques globaux, il est envisagé au cours du prochain siècle à nos latitudes moyennes, une diminution de l'ozone stratosphérique de 10 % à 20 % selon les scénarii. Ceci entraînera au niveau du sol une augmentation du flux d'UV-B entre 20 et 40 % selon les sites et la période de l'année.

Effets des niveaux actuels d'ozone troposphérique sur les arbres forestiers

Au Col du Donon (Massif Vosgien) où l'INRA effectue ses expériences sur les effets de l'ozone troposphérique, la concentration moyenne annuelle d'ozone est de l'ordre de 70 à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, soit environ le double du niveau de fond actuel d'ozone dans l'hémisphère Nord. Rappelons que ce niveau de fond actuel d'ozone est le double de celui qui existait avant l'ère industrielle.

L'intérêt de ce site est de se trouver dans une zone de dépérissement forestier et à proximité d'une station de mesure des polluants atmosphériques : la « Tour du Donon » gérée par l'ASPA de Strasbourg.

Dans une première série d'expériences réalisées entre 1985 et 1990 dans le cadre du programme DEFORPA, un ensemble de 2 chambres à ciel ouvert a été installé autour de jeunes clones d'épicéas de différentes provenances. Ce dispositif permet grâce à une filtration sur du charbon actif de l'air injecté, une élimination « in situ » de l'ozone de l'environnement des arbres sans pratiquement modifier les autres paramètres atmosphériques (température, humidité, ensoleillement, pluviosité).

Les expériences ont montré, par exemple, que dans les chambres à air filtré, les épicéas étaient de 16 à 45 % plus grands selon leur provenance comparativement à ceux des chambres à air non filtré [6].

Cet aspect positif qui varie d'un clone à l'autre et qui indique un rôle possible des facteurs génétiques est également extrêmement variable d'une année à l'autre, ce qui pourrait provenir de l'influence des conditions climatiques.

L'utilisation de chambre à ciel ouvert a permis de montrer l'impact négatif des niveaux locaux d'ozone sur la croissance de jeunes arbres dans cette région de dépérissement forestier. Au Col du Donon, les niveaux d'ozone actuels sont capables de perturber la physiologie des épicéas, sans toutefois être assez élevés pour entraîner des nécroses foliaires. Ceci indiquerait que l'épicéa est un

arbre plutôt résistant à cette pollution, et ceci d'autant plus qu'il provient d'une région d'altitude élevée. En effet, en altitude les concentrations d'ozone sont toujours naturellement plus importantes.

Effet des niveaux futurs d'ozone troposphérique sur les arbres forestiers

Suite à l'augmentation rapide de l'ozone troposphérique, il est apparu que les arbres plantés aujourd'hui connaîtront d'ici leur exploitation des conditions de vie bien différentes. Or on est incapable actuellement de prévoir les conséquences physiologiques à long terme de cette modification environnementale et, *à fortiori* leurs répercussions économiques. Il est donc urgent d'apporter des réponses à ces questions, de façon à déterminer si des mesures sylvicoles sont à prendre rapidement.

Dans une deuxième série d'expériences au Col du Donon, de jeunes épicéas et hêtres plantés dans le sol forestier sont soumis *in situ* aux conditions futures d'ozone dans l'atmosphère grâce à un nouveau dispositif de 8 chambres à ciel ouvert. Dans ces chambres le taux d'ozone autour des arbres a été augmenté de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par rapport au niveau moyen actuel du Col du Donon, de façon à mimer l'élévation des concentrations prévue au milieu du siècle prochain.

Les expériences ont commencé à l'automne 1992, et l'apport d'ozone se fait 24 heures sur 24 heures, mais il est différent selon les saisons pour être plus réaliste. En effet du fait des différences d'ensoleillement et de température, les concentrations actuelles moyennes d'ozone du site en « hiver » (de novembre à avril), sont de l'ordre de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alors qu'en été (de mai à octobre), elles sont de l'ordre de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pour mimer avec un maximum de réalisme, le doublement prévu des concentrations d'ozone, nous injectons donc dans 2 chambres un supplément de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d' O_3 en « hiver » et de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en « été ».

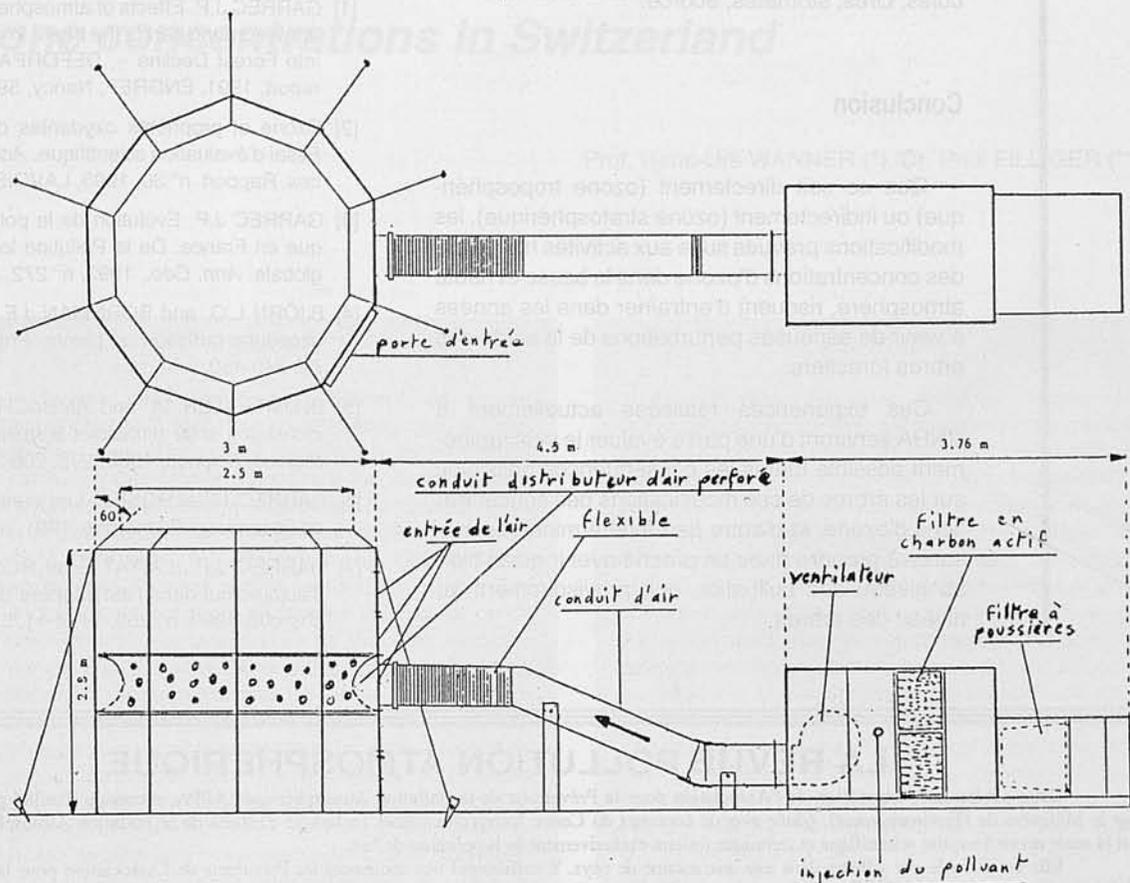
Dans les deux chambres chargées de mimer l'étape intermédiaire, nous n'injectons aucun supplément d'ozone en « hiver » et un supplément de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en « été ». De cette façon dans ces 2 ensembles de chambres, nous avons toujours une différence de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d' O_3 entre l'« hiver » et l'« été ».

Un troisième ensemble de 2 chambres sans apport d'ozone et un quatrième ensemble de 2 chambres où l'air du site est filtré au moyen de charbon actif (élimination de l'ozone) nous servent de témoin pollué et de témoin non pollué [7].

Sur ces arbres, de nombreux paramètres physiologiques sont en cours d'étude, et les premiers résultats commencent à être dépouillés. Des étu-

Schéma d'une chambre à ciel ouvert.

Open top chamber.



des sur l'interaction ozone-contrainte hydrique ont également été réalisées.

Il semble d'après les premiers résultats que si un apport de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d'ozone au-dessus des niveaux actuels n'entraîne pas de trop importantes perturbations physiologiques, par contre pour nos arbres une augmentation de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d'ozone semble très phytotoxique : diminution environ de moitié de la teneur en chlorophylle totale et de l'assimilation nette de CO_2 , et un effet important sur la croissance.

Effet des niveaux futurs d'UV-B sur les arbres forestiers

Dans le cadre de nos études de l'impact physiologique sur les arbres des prochains « climats de pollution » nous avons installé durant l'été 1993, une nouvelle station d'étude des UV-B au Col du Lautaret dans les Alpes à 2 100 m d'altitude.

L'originalité de cette station est de pouvoir soumettre dans des conditions entièrement naturelles des arbres à un large gradient de flux d'UV-B.

En effet à cette altitude, les forts flux d'UV-B (sensiblement 30 % de plus par rapport au niveau de la mer), permettent dès à présent de soumettre des arbres à des flux du même ordre de grandeur que ceux qui sont prévus au cours du siècle prochain. Parallèlement l'utilisation de filtres en plastique spécial placés au-dessus de certains arbres, permettra de soumettre ces arbres à différents niveaux d'UV-B jusqu'à leur absence totale. En effet rappelons qu'en montagne, le flux d'UV-B augmente naturellement de 14 à 18 % chaque fois que l'on s'élève de 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

Un autre intérêt de cette station d'altitude naturellement enrichie en UV-B est de pouvoir envisager dès maintenant des expériences de longue durée, ce qui est essentiel pour des travaux sur les arbres.

Les expériences sont réalisées sur des clones d'épicéas. Deux écotypes sont utilisés : un écotype d'altitude et un écotype de plaine, ceci afin d'estimer l'importance de la résistance génétique aux UV-B des arbres d'altitude.

Des travaux en cours doivent nous renseigner en particulier sur les modifications par les UV-B de

l'ensemble des protections extérieures des arbres vis-à-vis de l'environnement atmosphérique : cuticules, cires, stomates, écorce.

Conclusion

Que ce soit directement (ozone troposphérique) ou indirectement (ozone stratosphérique), les modifications prévues suite aux activités humaines des concentrations d'ozone dans la basse et haute atmosphère, risquent d'entraîner dans les années à venir de sérieuses perturbations de la santé des arbres forestiers.

Ces expériences réalisées actuellement à l'INRA serviront d'une part à évaluer le plus rapidement possible toutes les conséquences possibles sur les arbres de ces modifications des concentrations d'ozone, et d'autre part à déterminer les mesures à prendre dans un proche avenir aussi bien au niveau des polluants, que provisoirement au niveau des arbres.

Bibliographie

- [1] GARREC J.P. Effects of atmospheric pollution on the above-ground part of the trees. In « French Research into Forest Decline », DEFORPA Programme, 2nd report, 1991, ENGREF, Nancy, 59-86.
- [2] Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère. Essai d'évaluation scientifique. *Académie des Sciences*. Rapport n° 30, 1993, LAVOISIER, Paris, 262 p.
- [3] GARREC J.P. Évolution de la pollution atmosphérique en France. De la Pollution locale à la pollution globale. *Ann. Géo.*, 1993, n° 272, 359-365.
- [4] BJÖRN L.O. and BORNMAN J.F. (Eds.). Effects of ultraviolet radiation on plants. *Physiol. Plant.*, 1983, 58, 349-450.
- [5] BLUMTHALER M. and AMBACH W. Indication of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in alpine regions. *Science*, 1990, 248, 206-208.
- [6] GARREC J.P. et ROSE C. Les jeunes épicéas victimes de l'ozone. *La Recherche*, 1991, n° 236, 1228-1230.
- [7] GARREC J.P., LAITAT E. et ROSE C. Les arbres d'aujourd'hui dans l'atmosphère de demain. *La Recherche*, 1993, n° 258, 1174-1175.

LA REVUE POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

Cette publication, expression de l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA, reconnue d'utilité publique, et agréé par le Ministère de l'Environnement), éditée avec le concours du Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) est la seule revue française scientifique et technique traitant exclusivement de la pollution de l'air.

Elle est diffusée par ailleurs dans une quarantaine de pays. Y collaborent non seulement les Présidents de l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA) et du Centre Interprofessionnel Technique d'Étude de la Pollution Atmosphérique (CITEPA), mais également des représentants de l'industrie et des diverses disciplines scientifiques impliquées dans la connaissance des origines, des effets et du traitement de cette nuisance.

Les documents qu'elle publie dans ses différentes rubriques émanent de personnalités scientifiques éminentes. Ils font le point sur les sujets d'actualité et sur l'état des recherches dans le domaine de la pollution atmosphérique.

Pour élargir son audience sur le plan international, la revue édite les titres, les résumés et les légendes des figures et tableaux de ses articles en anglais ; de même, les articles qui lui seront adressés, seront publiés en anglais et feront l'objet d'une publication en anglais et en français après avis du Comité de rédaction (la traduction étant prise en charge par la revue).

A l'heure où les problèmes d'environnement se posent à tous les niveaux et dans tous les pays, les bases scientifiques que la revue apporte sont les meilleurs arguments dont peuvent disposer les responsables.

POLLUTION
ATMOSPHÉRIQUE
REVUE TRIMESTRIELLE

RÉDACTION - ADMINISTRATION - PUBLICITÉ
58, RUE DU ROCHER - 75008 PARIS
Tél. (1) 42 93 62 07 - 42 93 69 30
Fax (1) 42 93 41 99
Registre du Commerce - Paris 6420 17438 B
C.C.P. PARIS 21242-77
Commission Paritaire des Papiers de Presse n° 56640

BULLETIN D'ABONNEMENT

NOM ou RAISON SOCIALE : _____

ADRESSE : _____

– déclare souscrire un abonnement d'un an à « POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE » pour 1994

– souhaite recevoir une facture en _____ exemplaire(s)

– joint un chèque de F : _____

– date : _____

(règlement en francs français uniquement)

1994

– cachet ou signature :

ABONNEMENT
1 AN (4 NUMÉROS)

FRANCE.....	445 F T.T.C.
OUTRE-MER...	440 F
ÉTRANGER...	645 F

Pour les entreprises dépendant de la CEE, merci d'indiquer votre numéro de TVA.