



**Conseil Économique
et Social**

Distr.
GÉNÉRALE

EB.AIR/WG.1/2001/9
19 juin 2001

FRANÇAIS
Original: ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

**ORGANE EXÉCUTIF DE LA CONVENTION SUR LA POLLUTION
ATMOSPHÉRIQUE TRANSFRONTIÈRE À LONGUE DISTANCE**

Groupe de travail des effets
(Vingtième session, Genève, 29-31 août 2001)
Point 4 d) de l'ordre du jour provisoire

**EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR LA VÉGÉTATION
NATURELLE ET LES CULTURES, Y COMPRIS LES BESOINS EN MATIÈRE
DE TRAVAUX DE MODÉLISATION ET DE CARTOGRAPHIE DE DEGRÉ II**

Rapport technique du Centre de coordination du Programme international concerté
relatif aux effets de la pollution atmosphérique et d'autres phénomènes perturbateurs
sur les cultures et les végétaux non ligneux (PIC-Végétation)

Introduction

1. L'un des objectifs du PIC-Végétation est de cartographier les espèces et les communautés végétales menacées par la pollution à l'ozone en Europe, en identifiant les zones où ces espèces et communautés coïncident avec des niveaux d'ozone élevés.

Les documents établis sous les auspices ou à la demande de l'Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance aux fins d'une distribution GÉNÉRALE doivent être considérés comme provisoires tant qu'ils n'ont pas été APPROUVÉS par l'Organe exécutif.

2. Des dommages dus à l'ozone ont été observés en Europe sur la végétation naturelle exposée à l'air ambiant (Becker *et al.*, 1989), et des réductions de biomasse ont été enregistrées lors de l'exposition à de l'air non filtré, par comparaison à une exposition à de l'air filtré (Fuhrer *et al.*, 1994; Evans et Ashmore, 1992; Pleijel *et al.*, 1996). Il est donc urgent d'obtenir des données d'expérience fiables à partir desquelles il sera possible de déterminer les niveaux critiques pour les espèces végétales naturelles. Malheureusement, le choix des critères d'évaluation de la sensibilité de la végétation naturelle à l'ozone n'est pas aussi simple que dans le cas des cultures. La production de semences pourrait être retenue comme critère d'évaluation des effets pour les espèces annuelles et bisannuelles, mais ne serait sans doute pas adaptée pour les espèces pérennes. Dans la pratique, le procédé utilisé consiste à comparer les dommages visibles et l'augmentation du niveau d'ozone avec l'évolution de la situation en milieu maîtrisé. Les effets indirects de la pollution à l'ozone sur la structure et le fonctionnement du milieu végétal doivent être étudiés.

3. Dans le présent rapport sont examinés les éléments attestant des effets de l'ozone sur les espèces de végétation semi-naturelle et naturelle (ci-après, les espèces semi-naturelles et naturelles seront regroupées sous le terme générique de végétation "naturelle"). Les niveaux critiques actuels et les besoins en matière de travaux de modélisation et de cartographie de degré II sont également examinés, de même que les travaux de recherche du PIC-Végétation consacrés aux effets de l'ozone sur la végétation naturelle.

I. EFFETS DE L'OZONE SUR LA VÉGÉTATION NATURELLE

4. Les dommages dus à l'ozone sont moins spécifiques et moins faciles à identifier sur la végétation naturelle que sur les cultures, car les symptômes vont des granulations ou taches chlorotiques à un banal rougissement des feuilles (réaction générale des plantes au stress). Des dommages visibles ont été constatés sur plus de 50 espèces après des périodes d'exposition naturelle à l'ozone ou après des expositions artificielles de courte durée à des niveaux n'excédant pas 100 parts par milliard (ppb) (pour plus de détails, se reporter au rapport annuel de 2001 du PIC-Végétation (Mills *et al.*, 2001)). C'est ainsi que Nebel et Fuhrer (1994), évaluant la sensibilité de 31 espèces allogènes de Suisse, ont recensé 6 espèces sensibles (des symptômes de dommages visibles sont apparus après six jours d'exposition à 100 ppb), 15 espèces moyennement sensibles (des dommages sont apparus après trois jours supplémentaires d'exposition à 150 ppb) et 10 espèces résistantes (aucun dommage visible). Dans une étude de plus longue durée, Bergmann *et al.* (1996) ont observé des dommages visibles sur 11 des 16 espèces végétales naturelles exposées à 70 ppb pendant 7 h d⁻¹ en chambres à ciel ouvert.

5. Certaines espèces peuvent faire apparaître des réductions de biomasse dues à l'ozone à des niveaux proches des niveaux ambiants. Par exemple, 18 des 27 espèces étudiées en Suède se développaient davantage à l'air filtré que lorsqu'elles étaient exposées à de l'air non filtré et enrichi d'ozone (Pleijel et Danielsson, 1997). Au cours des expériences réalisées en Allemagne, certaines espèces, telles que la morelle noire (*Solanum nigrum*), la mauve sylvestre (*Malva sylvestris*) et le séneçon commun (*Senecio vulgaris*), ont subi une perte de biomasse foliacée de plus de 30 % pour une exposition à 70 ppb d'ozone d'une durée d'environ six semaines, alors que le chénopode blanc (*Chenopodium album*) et la grande ortie (*Urtica dioica*) n'ont subi aucune variation de leur biomasse ni des autres paramètres mesurés (Bergmann *et al.*, 1996).

6. Exposées à l'ozone, certaines espèces, telles que la fétuque ovine (*Festuca ovina*), ont montré une tendance à transférer leur biomasse vers les tiges au détriment des racines, ce qui risque de les désavantager lorsqu'elles se trouvent mêlées à d'autres espèces, même si aucun effet significatif (en termes de poids total) n'a été observé lorsque ces plantes poussent séparément (Cooley et Manning, 1987, Franzaring *et al.*, 2000). Au fur et à mesure qu'une plante se développe, fleurit et produit des semences, ces puits reçoivent une proportion relativement élevée de l'assimilat disponible. L'exposition à l'ozone durant cette période peut influencer la répartition de la biomasse vers ces puits. Par exemple, le pavot douteux (*Papaver dubium*) et le trèfle des champs (*Trifolium arvense*) ont subi des réductions de leur biomasse foliacée et des augmentations de leur biomasse au niveau des fleurs et des semences, alors que le chénopode blanc (*Chenopodium album*) et le matricaire discoïde (*Matricaria discoidea*) ont fait apparaître un poids plus important des tiges et une biomasse réduite au niveau du système reproducteur (Bergmann *et al.*, 1995).

II. RÉPERCUSSIONS ÉCOLOGIQUES DES EFFETS SUR LA VÉGÉTATION NATURELLE

7. Si la réaction de telle ou telle plante à l'ozone est importante, il a été montré que les effets de l'ozone sur les communautés végétales l'étaient encore plus lors du calcul des niveaux critiques. C'est là un domaine où un travail approfondi reste à faire, car il n'est pas toujours possible de déterminer la résistance des écosystèmes en extrapolant à partir de l'étude de telle ou telle espèce. Les effets de l'ozone sur les communautés naturelles ou artificielles doivent donc être étudiés directement.

8. Les différences de sensibilité à l'ozone peuvent donner lieu à un processus de sélection des espèces les plus résistantes, ce qui pourrait influencer la représentation des différentes espèces au sein des communautés naturelles, voire entraîner la disparition des espèces les plus sensibles de l'écosystème. De plus, les turbulences atmosphériques pourraient donner lieu à des concentrations d'ozone différentes à proximité d'espèces différentes, vu que les plantes poussant dans les couches inférieures du couvert pourraient être exposées à des concentrations très différentes de celles auxquelles sont exposées les plantes qui poussent dans les couches supérieures.

9. Dans les communautés artificielles, l'exposition à l'ozone a entraîné une diminution de la proportion de plantes herbacées et une augmentation de celle d'herbes (Ainsworth *et al.*, 1994; Ashmore *et al.*, 1995; Ashmore *et al.*, 1996), deux tendances compatibles avec les différences de sensibilité observées dans le cas des plantes ayant poussé isolément. Toutefois, une autre étude a permis de constater l'effet inverse (Evans et Ashmore, 1992). Dans ce cas précis, il a été estimé que les espèces herbacées ayant poussé dans les couches inférieures du couvert étaient sensibles à l'évolution de la pénétration de la lumière à travers le couvert herbeux due aux modifications provoquées par l'ozone dans le développement des espèces herbeuses.

10. Les effets sur les différentes espèces peuvent être modifiés par la concurrence entre celles-ci. Par exemple, le trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum*) et l'ivraie multiflore (*Lolium multiflorum*), en monocultures ou en cultures mélangées, ont été cultivés à l'air filtré et exposés à deux concentrations d'ozone différentes pendant six semaines (Bennett et Runeckles, 1977). Des points de vue du rendement et de la superficie foliaire, l'ivraie multiflore en cultures mixtes a moins subi les effets de l'ozone que le trèfle incarnat. La proportion d'ivraie multiflore était

plus importante, mais à 90 ppb, le poids sec total, le rendement, la superficie foliaire, le rapport foliaire et le nombre de tiges principales ont été moins affectés par l'ozone dans le cas des cultures mixtes que pour les monocultures.

11. Davison et Barnes (1998) ont estimé qu'il serait abusif de classer les espèces végétales naturelles parmi les espèces résistantes ou sensibles à l'ozone du fait des variations intraspécifiques de la résistance, telles que celles qui ont été observées pour le plantain majeur (*Plantago major*), la fléole des Alpes (*Phleum alpinum*) et le trèfle blanc (*Trifolium repens*). En effet, la résistance des espèces à l'ozone peut évoluer, ce qui a des répercussions à la fois sur la dynamique des communautés et sur le calcul des niveaux critiques. La résistance à l'ozone exige une forte réduction du degré d'adaptation à l'environnement, ce qui entraîne une pression de sélection en vue de l'évolution. Reiling et Davison (1992a) ont montré que la résistance relative du plantain majeur (*Plantago major*) pouvait être attribuée à l'indice d'exposition à l'ozone du site de prélèvement, ainsi qu'à certaines des variables climatiques du site, en particulier le degré d'ensoleillement en été. À l'heure actuelle, tout porte à croire que la présence d'ozone a provoqué une évolution de la résistance du plantain majeur dans la moitié sud du Royaume-Uni.

III. NIVEAUX CRITIQUES POUR LA VÉGÉTATION NATURELLE

12. Les niveaux critiques pour les espèces végétales naturelles ont été réexaminés lors de l'Atelier sur les niveaux critiques pour l'ozone (degré II) (Gerzensee, Suisse, avril 1999, Fuhrer et Achermann, 1999). Les recommandations suivantes ont été faites pour les niveaux critiques (degré I):

a) pour les espèces **annuelles**, le niveau critique, exprimé sous forme d'AOT40, calculé pendant la journée sur une période de trois mois, devrait être maintenu à 3 000 ppb.h. Le niveau critique pour les espèces annuelles est le même que pour les cultures (blé) car, pour les espèces végétales à cycle de vie court, le paramètre de réponse dont l'importance écologique est la plus élevée est la production de semences;

b) pour les espèces **pérennes**, le niveau critique, exprimé sous forme d'AOT40, calculé pour les heures de jour sur six mois, devrait être maintenu à 7 000 ppb.h (à titre provisoire). Les paramètres de réponse qui ont le plus d'importance sur le plan écologique pour les espèces à cycle de vie long sont la biomasse foliacée et la biomasse racinaire, et pour les espèces pérennes sensibles, telles que le trèfle blanc (*Trifolium repens*), on observe une réduction de 10 % de la biomasse foliacée à ce niveau.

(L'**AOT 40** correspond à la somme des différences entre les concentrations horaires (exprimées en ppb) et 40 ppb pour chaque heure durant laquelle la concentration est supérieure à 40 ppb au cours de la journée (lorsque le rayonnement par temps clair est supérieur à 50 Wm⁻²).

Unités: ppb.h or ppm.h.)

Dans les deux cas, la période considérée pour le calcul de l'AOT40 est flexible, pour prendre en compte les moments de la journée où la végétation est la plus active. Aucun niveau critique pour les espèces **bisannuelles** n'a jusqu'à présent été défini.

13. On pense que les facteurs qui ont le plus d'importance dans la modification de la réponse à l'ozone (facteurs de degré II) sont les suivants: humidité et état nutritionnel des sols; dynamique et structure des communautés végétales; espèces et génotype; présence de mycorrhize; dépôts d'azote; facteurs phénologiques; conductivité atmosphérique; déficit de pression de vapeur (DVP) et température de l'air; vulnérabilité aux herbivores et aux maladies végétales; enfin, présence simultanée d'autres polluants atmosphériques.

14. Le déficit de pression de vapeur (DPV) et le déficit en humidité du sol (DHS) ont été inscrits sur la liste, car tous les deux peuvent modifier la réponse de la végétation naturelle à l'ozone en produisant des effets sur la conductivité stomatale. Cependant, le niveau de réponse, et donc de protection, est spécifique à chaque espèce et peut être influencé par la compétition entre les espèces, ce qui rend toute généralisation difficile (Bungener *et al.*, 1999a, Nussbaum *et al.*, 2000). L'état nutritionnel est incontestablement un facteur important qui influence les réponses à l'ozone des communautés végétales naturelles. Les études consacrées à cette question sont pour l'heure peu nombreuses. Toutefois, Whitfield *et al.* (1998) ont montré que l'effet de l'ozone sur le plantain majeur était plus important pour les plantes aux racines peu développées et poussant dans un sol faiblement nutritif que pour les plantes qui n'étaient soumises à aucune restriction.

15. Les herbages semi-naturels sont fréquemment entretenus par la coupe ou la mise en pâturage. Ashmore et Ainsworth (1995) ont montré que la coupe exerçait une influence plus importante sur la proportion des deux plantes herbacées [trèfle blanc (*Trifolium repens*) et véronique petit chêne (*Veronica chamaedrys*)] qu'une concentration d'ozone, fût-elle la plus élevée. La coupe ou la mise en pâturage constituerait donc un important facteur de modification de la réponse à l'ozone de ces communautés contrôlées.

IV. RÔLE DU PIC-VÉGÉTATION DANS LE CALCUL DES NIVEAUX CRITIQUES D'OZONE ET LA CARTOGRAPHIE DE LEURS DÉPASSEMENTS POUR LA VÉGÉTATION NATURELLE

16. Le Centre de coordination s'est chargé de réunir les données sur la végétation naturelle provenant des sources internationales, dans le but de constituer une base de données des espèces européennes «à risque» au contact du polluant. Des méthodes permettant de cartographier la répartition des communautés végétales sensibles à l'ozone sont également à l'étude.

17. La base de données est constituée à partir d'informations publiées dans la littérature scientifique, mais aussi d'informations non publiées sur les expériences d'exposition à l'ozone réalisées par les participants au réseau PIC-Végétation. Outre des informations sur les réponses à l'ozone, la base de données renferme des informations sur les caractéristiques botaniques (forme des feuilles, par exemple), la phénologie (périodicité des phases de croissance, par exemple), la nutrition, les exigences pédologiques et climatiques, la stratégie de croissance et la conductance stomatique. La base de données ne comprend que des données issues d'expériences d'exposition de longue haleine réalisées sur site.

18. La base de données sur la végétation naturelle sera développée au cours des deux prochaines années, avec l'apport de nouvelles données provenant d'autres sources. La principale de ces sources sera le projet «Biodiversité des écosystèmes herbacés semi-naturels perturbés

par des éléments issus de modifications à l'échelle planétaire» (BIOSTRESS) (dirigé par M. A. Fangmeier, Université de Hohenheim, Allemagne). Ce projet, qui couvre une période de trois ans (2000-2002), est financé dans le cadre de l'Action-clef «Changement planétaire, climat et biodiversité», du cinquième Programme-cadre de la Commission européenne. Il a pour objet l'étude des effets les plus complexes de l'ozone sur la structure des espèces dans les communautés végétales, des effets au niveau des écosystèmes et, par conséquent, de l'action possible de l'ozone troposphérique sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes. Le projet réunit huit centres de recherche de six pays d'Europe, en partenariat étroit avec un groupe des États-Unis. Au terme du projet BIOSTRESS, les utilisateurs membres du réseau PIC-Végétation disposeront d'un système expert qui leur permettra de prévoir les effets potentiels de l'ozone sur la végétation à partir de divers scénarios.

19. Le projet BIOSTRESS comporte à la fois un travail de modélisation et un travail expérimental reposant sur un cadre théorique lui-même basé sur la théorie écologique de la croissance des communautés végétales, des types fonctionnels de végétation et des interactions entre les deux. Les modèles employés sont de deux types: un modèle à court terme, de type mécaniste, de croissance d'une communauté végétale et un modèle cellulaire automatisé, de type fonctionnel, adapté aux simulations à long terme. Ces modèles sont utilisés pour réaliser des expériences virtuelles à partir de différents scénarios relatifs à l'ozone. Pour valider et étalonner les modèles, des données sont produites à partir des expériences faisant appel à des communautés végétales types exposées à différentes concentrations d'ozone et cultivées dans des chambres à ciel ouvert (mésocosmes) ou à des communautés naturelles complexes exposées à de l'ozone dans des systèmes d'exposition sans chambre (communautés complexes).

20. Six des huit centres de recherche européens participant au projet BIOSTRESS participent également au réseau PIC-Végétation. Un des grands volets du projet porte sur la définition de niveaux critiques d'ozone pour la végétation semi-naturelle. Les données obtenues dans le cadre du projet et celles tirées des activités du Pic-Végétation seront fusionnées au sein d'une base de données unique pour le calcul des niveaux critiques. De plus, une séance spéciale consacrée au projet BIOSTRESS est organisée chaque année dans le cadre des réunions de l'Équipe spéciale sur le PIC-Végétation, et le Président et le Comité directeur du PIC-Végétation sont invités aux séances organisées pour les utilisateurs dans le cadre des réunions du consortium BIOSTRESS. On trouvera des informations supplémentaires concernant BIOSTRESS à l'adresse Internet <http://www.uni-giessen.de/biostress>.

21. Le PIC-Végétation tirera également profit des données obtenues à partir des expériences sur les effets de l'ozone réalisées grâce à un financement national au Royaume-Uni, aux Pays-Bas, en Suisse, en Slovénie et en Espagne.

22. Les données issues de l'ensemble de ces sources sont utilisées pour identifier les espèces les plus menacées par la pollution à l'ozone et calculer les niveaux critiques les mieux adaptés aux différents types de végétation naturelle. Le PIC-Végétation étudiera également la possibilité de caractériser les communautés végétales sensibles à l'ozone sur la base de la classification des habitats naturels établie par l'EUNIS (<http://mrw.wallonie.be/dgrne/sibw/EUNIS>). Le PIC-Cartographie examine actuellement cette classification dans le but de l'utiliser comme cadre pour cartographier les types de végétation exposés aux effets de l'azote nutritif.

23. Une fois définis les nouveaux niveaux critiques pour les effets de l'ozone sur la végétation naturelle, la prochaine tâche consistera à cartographier les régions dans lesquelles les dépassements coïncident avec la présence de communautés végétales sensibles à l'ozone. Les cartes existantes, telles que la carte de l'occupation des sols établie par l'Institut de Stockholm pour l'environnement (SEI), font une distinction entre les herbages améliorés ou non, classés comme secs ou humides et sur la base du pH des sols. Lorsque les communautés végétales considérées comme sensibles à l'ozone auront été identifiées, les informations sur leurs exigences en matière d'altitude, de climat, d'humidité des sols et de pH seront utilisées (par Mme L. Emberson, SEI, York; et M. M. Ashmore, Université de Bradford, Royaume-Uni) pour la cartographie de la position géographique «potentielle» de ces communautés dans la région de la CEE/ONU. D'autres sources d'informations cartographiques concernant l'emplacement des communautés végétales sont également étudiées, et les cartes seront élaborées en collaboration avec le Centre de coordination sur les effets.

V. TRAVAUX FUTURS

24. Les résultats des travaux décrits plus haut devraient permettre de proposer des niveaux critiques révisés pour les espèces végétales naturelles lors du prochain Atelier sur les niveaux critiques pour l'ozone, dont la date a été provisoirement fixée à l'automne 2002. Ces nouveaux niveaux critiques pourraient être basés sur les concentrations (c'est-à-dire, par exemple, exprimés sous forme d'AOT40) et non sur les flux. En effet, les recherches sur le rapport entre les effets et les flux pour ce type de végétation accusent un net retard sur les recherches équivalentes pour les cultures et les arbres forestiers, étant donné la complexité des communautés végétales naturelles. Des informations seront néanmoins disponibles concernant les principaux facteurs de degré II, tels que les différences interspécifiques et intraspécifiques de réponses à l'ozone, et sur le rôle de la compétition entre les espèces. Ces informations permettront d'élaborer des définitions plus claires des niveaux critiques pour la végétation naturelle. La mise au point des procédures de cartographie des communautés végétales menacées par l'ozone se poursuivra au cours des deux prochaines années pour aboutir, en 2003, à l'élaboration de cartes des dépassements pour la végétation naturelle.

25. Un système de biosurveillance pour la végétation naturelle, basé soit sur des biotypes sensibles et résistants à l'ozone, soit sur des espèces, doit être incorporé, dans un proche avenir, au programme expérimental du PIC-Végétation. Une étude pilote sur le *Cirsium arvense* (chardon des champs), espèce sensible à l'ozone, est en cours cet été (2001) dans huit pays participants. Lorsque la méthode aura été mise en place, un protocole expérimental portant notamment sur la mesure de la conductance stomatique sera mis en œuvre. Cette expérience fournira les données nécessaires à l'élaboration d'un modèle des flux et des effets pour une espèce végétale naturelle poussant à l'air ambiant, qui tienne compte de l'influence des facteurs de degré II.

Références

- Ainsworth, N., Ashmore, M.R., Cousins, D.A., et Thwaites, R.H. (1994). Experimental assessment of critical levels for grassland communities. Dans: Acid Rain and its Impact: The Critical Levels Debate. Ensis Ltd.
- Ashmore, M.R., et Ainsworth, N. (1995). The effects of cutting on the species composition of artificial grassland communities. *Functional Ecology* 9: 708-712.
- Ashmore, M.R., Power, S.A., Cousins, D.A., et Ainsworth, N. (1996). Effects of ozone on native grass and forb species: a comparison of responses of individual plants and artificial communities. 193-197.
- Becker, K., Saurer, M., Egger, A., et Fuhrer, J. (1989). Sensitivity of white clover to ambient ozone in Switzerland. *New Phytologist* 112: 235-243.
- Bennett, J.P., et Runeckles, V.C. (1977). Effects of low levels of ozone on plant competition. *Journal of Applied Ecology* 14: 877-880.
- Bergmann, E., Bender, J., et Weigal, H.J. (1996). Ozone and natural vegetation: Native species sensitivity to different ozone exposure regimes. *Critical levels for ozone in Europe: Testing and finalizing the concepts. CEE/ONU* 205-209.
- Bergmann, E., Bender, J., et Weigal, H. (1995). Growth responses and foliar sensitivities of native herbaceous species to ozone exposures. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 1437-1442.
- Bungener, P., Balls, G.R., Nussbaum, S., Geissmann, M., Grub, A., et Fuhrer, J. (1999a). Leaf injury characteristics of grassland species exposed to ozone in relation to soil moisture condition and vapour pressure deficit. *New Phytologist* 142: 271-282.
- Cooley, D.R., et Manning, W.J. (1987). The impact of ozone on assimilate partitioning in plants: A review. *Environmental Pollution* 47: 95-113.
- Davison, A.W., et Barnes, J.D. (1998). Effects of ozone on wild plants. *New Phytologist* 139: 135-151.
- Evans, P.A., et Ashmore, M.R. (1992). The effects of ambient air on a semi-natural grassland community. *Agriculture, ecosystems and environment* 38: 91-97.
- Franzaring, J., Tonneijck, A.E.G, Kooijman, A. W. N., et Dueck, Th. (2000). *Environmental and Experimental Botany* 44: 39-49.
- Fuhrer, J., et Achermann, B. (1999). Critical Levels for Ozone - Level II. Environmental Documentation No. 115. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne (Suisse)
- Fuhrer, J., Shariat-Madari, H., Perler, R., Tschannen, W., et Grub, A. (1994). Effects of ozone on managed pasture: II. Yield, species composition, canopy structure, and forage quality. *Environmental Pollution* 86: 307-314.

Mills, G.E., Hayes, F.H., et Reynolds, B. (2001). Air Pollution and Vegetation: Rapport sur la végétation de 2000/2001, du PIC-Végétation de la CEE/ONU. Établi pour la vingtième session du Groupe de travail des effets, août 2001.

Nebel, B., et Fuhrer, J. (1994). Inter- and Intraspecific differences in ozone sensitivity in semi-natural plant communities. *Angew.Bot.* 68: 116-121.

Nussbaum, S., Bungener, P., Geissmann, M., et Fuhrer, J. (2000). Plant – plant interactions and soil moisture might be important in determining ozone impacts on grassland. *New Phytologist* 147: 327–335.

Pleijel, H., et Danielsson, H. (1997). Growth of 27 herbs and grasses in relation to ozone exposure and plant strategy. *New Phytologist* 135: 361-367.

Reiling, K., et Davison, A.W. (1992a). Spatial variation in ozone resistance of British populations of *Plantago major* L. *New Phytologist* 122: 699-708.

Whitfield, C.P., Davison, A.W., et Ashenden, T.W. (1998). The effects of nutrient limitation on the response of *Plantago major* to ozone. *New Phytologist* 140: 219-230.

Note: Les références ont été reproduites telles qu'elles ont été reçues par le secrétariat.
