

Zeitschrift: Saussurea : journal de la Société botanique de Genève
Herausgeber: Société botanique de Genève
Band: 30 (1999)

Artikel: Pollution à l'ozone et diversité floristique
Autor: Bungener, Patrick / Fuhrer, Jürg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098888>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Pollution à l'ozone et diversité floristique

Patrick Bungener^{1*} & Jürg Fuhrer¹

RÉSUMÉ

Bungener P. & J. Fuhrer (1999). Pollution à l'ozone et diversité floristique. *Saussurea*, 30, p. 97 - 106.

Principal composant du « smog » estival, l'ozone troposphérique est le polluant atmosphérique majeur de nos contrées connu pour provoquer une baisse de rendement et des dégâts importants chez les plantes cultivées. Cependant, son impact à long terme sur la valeur naturelle (diversité floristique) et la valeur agronomique (rendement en matière sèche et qualité de l'herbage) des prairies naturelles reste encore méconnu. Une récente étude menée à l'Institut de recherches en protection de l'environnement et en agriculture à Liebefeld-Berne a montré la grande différence de sensibilité vis-à-vis de l'ozone de 24 espèces de prairie représentatives du type *Arrhenatheretalia*. Cette étude démontre également que ces réponses au polluant sont fortement dépendantes du facteur hydrique environnant et qu'elles peuvent être classées selon le modèle triangulaire C-S-R de Grime des stratégies de vie.

ABSTRACT

Bungener P. & J. Fuhrer (1999). Ozone pollution and floristic biodiversity. *Saussurea*, 30, p. 97 - 106.

Tropospheric ozone is the most important air pollutant in Switzerland during the summer. Although ozone is well known to be responsible for growth effects and leaf injury in cultivated crops, its long-term effects on the diversity and the yield of managed grasslands are yet unknown. A recent study carried out at the Institute of Environmental Protection and Agriculture in Liebefeld-Bern has shown that ozone produces a range of different responses in 24 grassland species from the *Arrhenatheretalia* community. The sensitivity of the different species to ozone was related the soil water availability, and to Grime's triangular classification of plant strategies, i.e. the C-S-R model.

Recherche

MOTS-CLÉS

ozone troposphérique
prairie
régime hydrique
dégâts foliaires
croissance
modèle C-S-R de Grime

KEY-WORDS

tropospheric ozone
grassland
soil moisture deficit
leaf injury
growth
Grime's C-S-R model

¹ Institut de recherches en protection de l'environnement et en agriculture (IUL),
Schwarzenburgstr. 155, CH-3097 Liebefeld - Berne

*Auteur pour la correspondance: fax + 41 (0)31 323 84 15 e-mail: patrick.bungener@iul.admin.ch

INTRODUCTION

Formation et caractéristiques de l'ozone

L'ozone troposphérique (O_3) est un polluant atmosphérique secondaire formant le « smog estival » qui résulte d'une réaction couplée entre une molécule d'oxygène (O_2) et un radical libre d'oxygène ($O\cdot$). Dans une atmosphère considérée comme « pure », soit dénuée de particules polluantes issues des gaz du trafic motorisé telles que le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO_2) et les composés organiques volatiles (COVs), la présence d'atomes libres d'oxygène dans l'air est rare parce que les radiations ultraviolettes susceptibles de scinder les molécules O_2 en deux radicaux libres O sont absorbées par la couche d'ozone présente dans la haute stratosphère. Cependant, dans une atmosphère polluée, riche en émissions d'oxyde et en hydrocarbures organiques volatiles, l'apparition de ces atomes libres est décuplée par suite de la scission des molécules NO_2 en NO et O, induite par le rayonnement solaire : la concentration d'ozone dans l'air augmente, par conséquent, de manière significative, et ce d'autant plus que le rayonnement solaire est élevé. Les conditions météorologiques **anticycloniques** (absence de vent, haute pression) que connaissent les contrées continentales et méditerranéennes lors des saisons estivales favorisent l'établissement de périodes enregistrant des pics élevés de concentration de ce polluant photochimique (on parle alors d'épisodes d'ozone). Chaque été, les teneurs enregistrées dans les différentes régions de Suisse dépassent très largement les **valeurs limites de concentration** fixées pour le maintien d'une bonne qualité de l'air. Signalons, en outre, que cette pollution touche plus fortement les **zones rurales** que les zones urbaines, parce que l'ozone formé dans ces dernières se dégrade plus rapidement en réagissant avec le monoxyde d'azote présent en forte concentration.

Effets de l'ozone sur les plantes

De par sa phytotoxicité et sa charge présente pendant la période de végétation, l'ozone présente un risque tout particulier pour la végétation et les cultures, et les possibles conséquences qui en résultent sont évaluées depuis bientôt plus de trente ans. Actuellement, il est clairement établi que les concentrations élevées d'ozone dans l'air ambiant mesurées un peu partout en Europe produisent de nombreux effets sur les plantes cultivées et orne-



Figure 1. Chambre de fumigation externe à ciel ouvert

mentales telles que des **dégâts foliaires visibles** (nécroses, chloroses), une **baisse de rendement**, une **diminution de la formation d'inflorescence et de la production de graines** ou de fruits, et une **sensibilité accrue** aux stress biotiques et abiotiques (Fuhrer & al., 1997). Les nombreuses recherches entreprises lors de ces dernières années ont montré tout particulièrement que les plantes absorbent le polluant par leurs **stomates foliaires**, et ont permis de mieux comprendre les mécanismes physiologiques et moléculaires sous-jacents induits en réponse au polluant chez les céréales et les arbres fruitiers. Elles ont aussi permis de définir de manière précise, pour la plupart des espèces agricoles, le **niveau de concentration critique d'ozone** (*critical level*) au dessus duquel des effets négatifs pour la plante apparaissent (Fuhrer & Achermann, 1994). Ainsi, dans l'exemple du **blé**, le niveau critique d'ozone pour protéger les cultures a été défini comme le taux d'ozone de 3000 ppb. h correspondant à 10 % de la perte du rendement du grain de blé. Cette valeur, exprimant la dose du polluant cumulée sur 3 mois et calculée sur la base d'une valeur seuil de 40 ppb (index AOT40 (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb), exprimé en ppb.h), est bien

souvent dépassée sur le Plateau suisse, et des pertes de rendement peuvent alors être évaluées. Les recherches entreprises ont aussi montré que ce niveau critique était fortement dépendant de la **teneur en humidité du sol** (régime hydrique) : les pertes de rendement occasionnées par l'ozone, lors des années sèches, s'avèrent en effet nettement inférieures à celles ayant enregistré lors des années plus humides. Il a pu être ainsi démontré, pour l'année 1994, qu'avec une pollution à l'ozone élevée et une pluviosité basse, la perte estimée de rendement potentiel des zones agricoles avait diminué, pour l'ensemble de la Suisse, de 18,9 % à 16,5 %, comparativement à l'année 1992 aux conditions contraires de pollution basse et pluviométrie élevée (Fuhrer, 1995). Cette différence s'explique par le **mécanisme d'ouverture** naturel des stomates qui s'ouvrent ou se ferment au gré des conditions hydriques environnantes : une plante aura, de fait, tendance à absorber plus de particules d'ozone lors d'une période humide (ouverture des stomates) que lors d'une phase de grande sécheresse avec des épisodes d'ozone, ceci même si la concentration du polluant est faible à moyenne.

Si les niveaux de concentration critique pour l'ozone sont actuellement bien définis pour un grand nombre de plantes agricoles et d'espèces forestières (Kärenlampi & Skärby, 1996 ; Fuhrer & Achermann, 1999), ces valeurs font cependant défaut pour les espèces des **communautés naturelles** autres que celles des forêts, étant donné l'insuffisance de données expérimentales (Davison & Barnes, 1998). A cet égard, l'absence d'information concernant de possibles impacts créés par des charges élevées d'ozone sur la **végétation des prairies naturelles** est particulièrement alarmant. Les prairies naturelles de fauche forment une partie importante du paysage agricole suisse, puisqu'elles représentent non moins de 60 % de la surface du Plateau. Elles jouent un rôle important, non seulement dans la **diversité biologique** du paysage, mais aussi en contribuant indirectement à plus de la moitié des **bénéfices économiques** de l'agriculture. Parce qu'elles sont majoritairement situées dans des zones enregistrant des pics de pollution à l'ozone pouvant être considérablement élevés d'une année à l'autre durant la période végétative, la possibilité que des charges excessives de ce polluant donnent lieu à des modifications de **structure** (composition floristique), de **fonctionnement** (phénologie, capacité reproductive des espèces) et du **rendement**

(fourrage) de ces communautés ne saurait être écartée, et ce d'autant plus que de possibles nuisances risqueraient d'entraîner, à la longue, de graves répercussions, aussi bien économiques (**perte de qualité fourragère**) qu'environnementales (**diminution de la biodiversité**). En outre, cette évaluation des nuisances nécessite aussi la prise en compte des facteurs environnementaux importants, tel que le **régime hydrique**, susceptibles de modifier l'effet du polluant.

But

Le travail présenté ici est un résumé de deux articles récemment parus (Bungerer & al., 1999a, b). Il rend compte des résultats d'un **essai expérimental** de longue durée (1995-1996) mis en place à Berne-Liebefeld afin de déterminer la **sensibilité à l'ozone en relation avec le régime hydrique** de différentes espèces végétales communes aux prairies suisses. L'étude s'articule en deux volets principaux :

- L'évaluation des **dégâts foliaires** causés par le polluant.
- Les **modifications de croissance** (biomasse) engendrées sous différentes concentrations de charge polluante.

Tableau 1. Liste des espèces incluses dans la présente étude

Famille	Espèce
POACEAE	<i>Arrhenaterum elatius</i> (L.) J. & C. Presl <i>Bromus erectus</i> Hudson <i>Dactylis glomerata</i> L. <i>Festuca rubra</i> L. <i>Lolium perenne</i> L. <i>Poa pratensis</i> L. <i>Trisetum flavescens</i> (L.) P. Beauv.
APIACEAE	<i>Carum carvi</i> L.
ASTERACEAE	<i>Achillea millefolium</i> L. <i>Centaurea jacea</i> L. <i>Chrysanthemum leucanthemum</i> L. <i>Crepis biennis</i> L. <i>Taraxacum officinalis</i> G. Weber <i>Tragopogon orientalis</i> L.
CARYOPHYLLACEAE	<i>Lychnis flos-cuculi</i> L. <i>Silene dioica</i> (L.) Clairv.
DIPSACACEAE	<i>Knautia arvensis</i> (L.) Coulter
FABACEAE	<i>Lotus corniculatus</i> L. <i>Onobrychis sativa</i> Lam. <i>Trifolium pratense</i> L. <i>Trifolium repens</i> L.
LAMIACEAE	<i>Salvia pratensis</i> L.
PLANTAGINACEAE	<i>Plantago lanceolata</i> L.
POLYGONACEAE	<i>Rumex obtusifolius</i> L.

Tableau 2. Caractéristiques des traitements d'ozone (avec valeurs correspondantes AOT40 pour 1995) et des régimes hydriques utilisés

Traitement	Descriptif	AOT 40 (ppb.h)
CF	contrôle, concentration O ₃ < 40 ppb	469
CFAA	concentration O ₃ = concentration air ambiant	13906
CF+	concentration O ₃ = 1,5x CFAA	37579
CF++	concentration O ₃ = 2x CFAA durant les <i>phases épisodiques</i> , sinon 1x CFAA	24250
Régime hydrique		
<i>Humide</i>	arrosage de nuit, <i>capacité au champ</i> (volume d'eau maximum que le sol peut contenir) atteinte chaque matin.	
<i>Sec</i>	arrosage restreint durant les <i>phases épisodiques</i> avec 1/3-1/2 de la <i>capacité au champ</i> atteinte, sinon comme le régime <i>humide</i>	

MATERIEL ET METHODE

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé comporte 24 **chambres de fumigation externe à ciel ouvert** (fig. 1) ayant reçues chacune **24 individus d'espèces différentes** représentatives de la communauté *Arrhenatheretalia* (tab. 1) et réparties en trois groupes répétitifs de 8 chambres (chaque groupe forme un bloc). L'ensemble des plantes contenues dans chaque chambre du bloc reçoit un **traitement d'ozone** spécifique (parmi 4 variantes différentes : CF, CFAA, CF+, CF++, voir tableau 2 pour le détail) accompagné d'un **traitement hydrique** particulier (entre 2 variantes) (tab. 2). Toutes les plantes recoivent ordinairement un traitement hydrique **humide** (arrosage automatique chaque soir), sauf durant les **phases épisodiques**, où, durant quelques jours, pour simuler les conditions propres aux épisodes d'ozone (haute pression, sécheresse), la moitié des chambres de chaque bloc subit un régime hydrique **sec** (pas d'irrigation), tandis que l'autre moitié reste soumise au régime hydrique **humide**. L'expérience a débuté au printemps 1995 et s'est terminée à l'automne 1996, avec un arrêt durant la saison hivernale 1995-96.

Mesures effectuées

Les plantes, issues de graines ayant toutes germées dans des conditions identiques, ont été plantées chacune dans des pots individuels avant leur mise en place dans les chambres. **Trois récoltes** de tous les individus dans toutes les chambres ont été effectuées chaque année (coupe de juin, d'août et

d'octobre), en enregistrant, à chaque fois et pour chaque espèce, le **poids sec** (biomasse) des différentes parties végétales (feuilles, tiges et fleurs), ainsi que le **type** et le **pourcentage** de symptômes foliaires présents.

RESULTATS

Dégâts foliaires: types

Quatre types principaux de dégâts foliaires apparus sous fumigation d'ozone ont été observés et décrits chez les espèces suivantes :

- "Taches nécrotiques jaunes-grises à brunes" (dégâts spécifiques à l'O₃) : *Arrhenatherum elatius*, *Carum carvi*, *Centaurea jacea*, *Chrysanthemum leucanthemum*, *Crepis biennis*, *Knautia arvensis*, *Lotus corniculatus*, *Onobrychis sativa*, *Plantago lanceolata*, *Taraxacum officinalis*, *Tragopogon orientalis*, *Trifolium pratense*, *T. repens*.
- "Coloration rouge" (formation de pigments anthocyaniques, symptômes de stress non spécifique à l'O₃) : *Centaurea jacea*, *Knautia arvensis*, *Lychnis flos-cuculi*, *Rumex obtusifolius*.
- "Jaunissement et sénescence accéléré" (décoloration généralisée, non spécifique à l'O₃) : observé chez toutes les espèces étudiées, à l'exception de *Silene dioica*.

Plusieurs types de dégâts peuvent apparaître ainsi chez la même espèce.

Dégâts foliaires: sensibilité des espèces

Si certaines espèces (p. ex. *Knautia arvensis* et *Trifolium repens*) présentent une étendue plus grande des dégâts comparativement à d'autres espèces (telles que p. ex. *Salvia pratensis* et *Tragopogon orientalis*), il n'existe néanmoins aucune différence uniforme dans l'importance des dégâts en relation avec le régime hydrique (fig. 2). Cependant, la majorité des espèces dont les dommages foliaires sont plus importants dans le contexte du régime hydrique humide que dans celui du régime sec sont caractérisées par des dégâts foliaires de type nécrotique propres à une atteinte par l'ozone.

On constate, de plus, une différence entre les espèces dans le laps de temps nécessaire pour l'apparition des premiers dégâts foliaires. Ainsi, si certaines plantes « sensibles » (p. ex. *Carum carvi*, *Trifolium pratense* et *T. repens*) accusent des dégâts foliaires après une quinzaine de jours seulement

dans des concentrations ambiantes d'ozone continues (traitement CFAA), d'autres espèces (telles que *Plantago lanceolata* et *Tragopogon orientalis*) peuvent être classées, au contraire, parmi les plantes « résistantes ». Elles ne présentent, en effet, des dégâts qu'après un mois et demi d'une fumigation élevée et continue d'ozone (traitement CF+).

Réponse de croissance lors du traitement hydrique humide

De très grandes différences entre les espèces se dessinent dans la réponse de la croissance totale face aux différents traitements d'ozone par rapport à celle enregistrée dans le traitement contrôle (CF) (fig. 3 ; une espèce représentative par groupe est présentée). On peut classer ces différences de croissance en cinq groupes principaux :

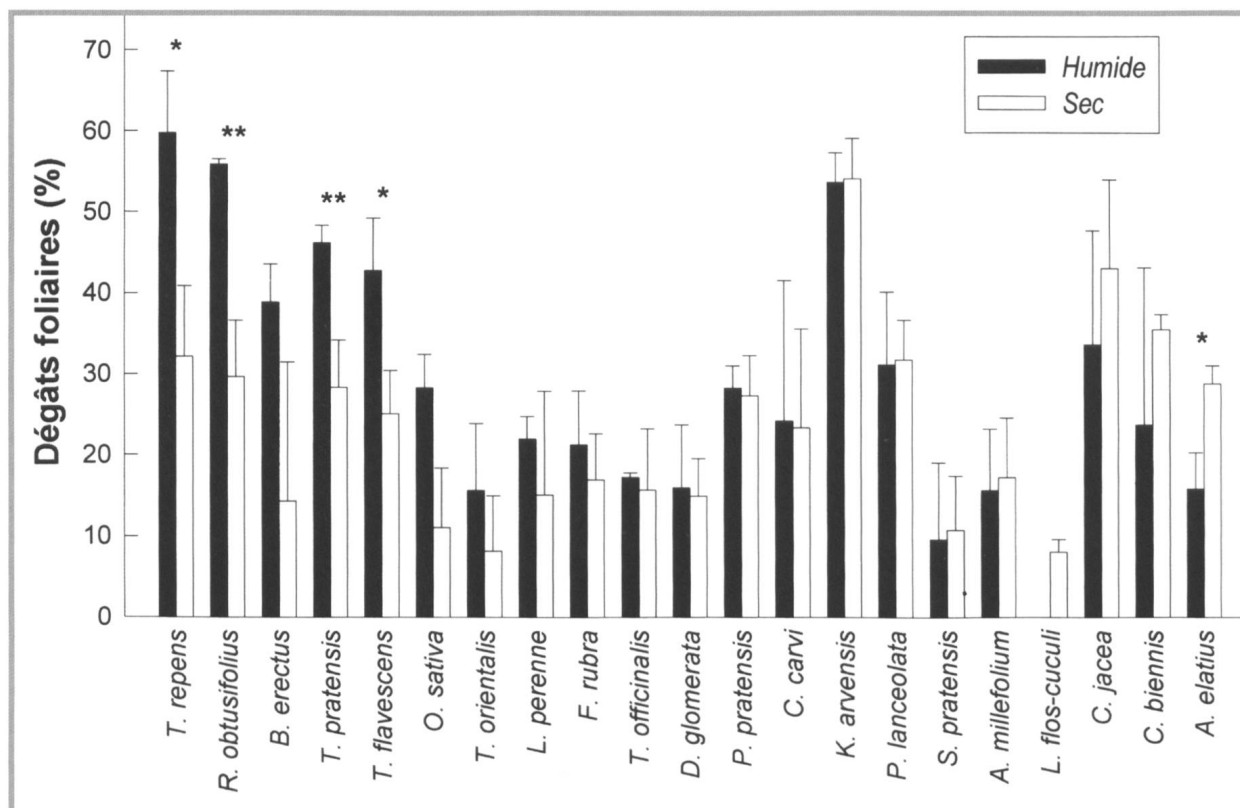


Figure 2. Dégâts foliaires visibles par espèce étudiée causés par l'ozone (traitement CF++) pour le traitement humide et sec. Trois espèces n'ont pas été représentées du fait de l'absence de dégâts observés. Le degré de signification (t-test) entre les deux traitements est indiqué par * ($P < 0.1$) et ** ($P < 0.05$) (repris de Bungener, 1999a)

Groupe A : Un groupe d'espèces (*Achillea millefolium*, *Chrysanthemum leucanthemum*, *Dactylis glomerata*, *Festuca rubra*, *Tragopogon orientalis*, *Trifolium pratense* et *T. repens*) dont la croissance diminue de manière constante avec l'élévation de l'index cumulatif d'ozone « AOT40 ».

Groupe B : Un groupe d'espèces (*Lotus corniculatus*, *Poa pratensis* et *Rumex obtusifolius*) subissant une plus faible diminution de croissance que le groupe précédent avec l'élévation des teneurs du polluant.

Groupe C : Un groupe d'espèces (*Centaurea jacea*, *Crepis biennis*, *Plantago lanceolata* et *Taraxacum officinalis*) dont la croissance, stimulée par de faibles teneurs en ozone (traitement CFAA), diminue, cependant, avec des concentrations plus élevées (traitements CF++ et CF+).

Groupe D : Un groupe d'espèces (*Bromus erectus*, *Lolium perenne* et *Silene dioica*) dont la croissance augmente proportionnellement aux teneurs d'ozone administrées.

Groupe E : Un groupe d'espèces (*Onobrychis sativa*, *Salvia pratensis* et *Trisetum flavescens*) dont la croissance est de plus en plus fortement stimulée par l'ozone jusqu'à une certaine concentration critique (pic de croissance).

Certaines espèces, enfin, (*Arrhenatherum elatius*, *Carum carvi*, *Knautia arvensis* et *Lychnis flos-cuculi*) n'ont présenté aucune variation de croissance avec les différentes teneurs d'ozone administrées.

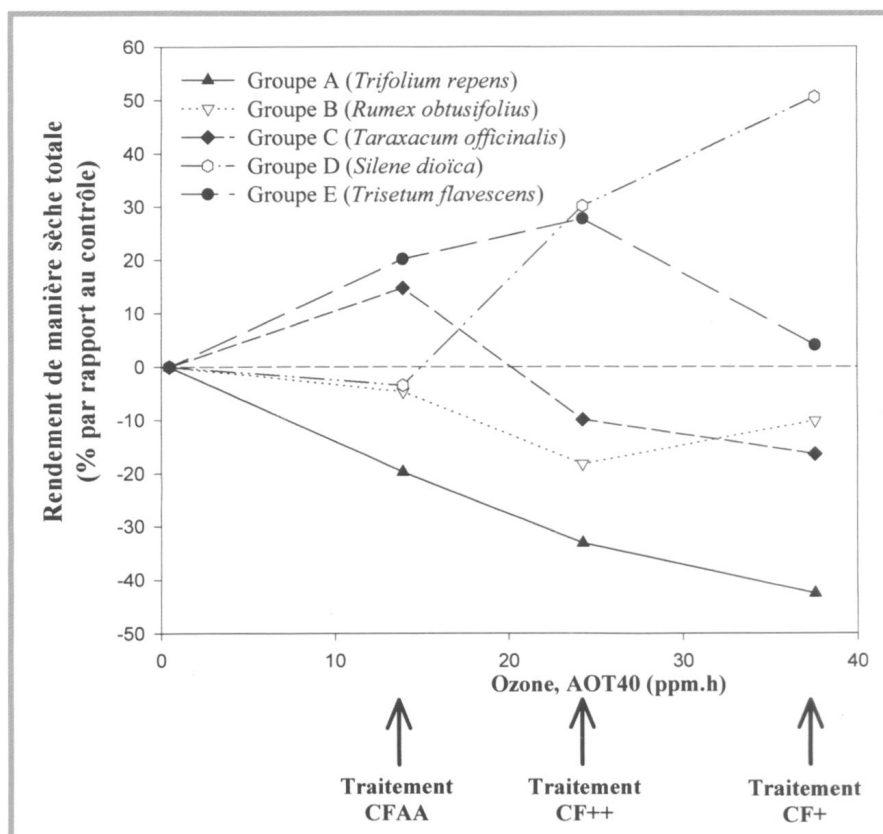
Réponse de croissance lors du traitement hydrique sec

Si les mêmes courbes de réponse de croissance ont été constatées en réponse à l'ozone couplé à un régime hydrique réduit, les espèces se sont vues néanmoins être regroupées différemment que précédemment. Ainsi, pour ne citer que quelques exemples, si *Achillea millefolium* (groupe A) et *Bromus erectus* (groupe D) n'ont présenté aucune variation de croissance avec l'ozone, *Trifolium repens* (fig. 3, groupe A) s'est vu être classé dans le groupe B et *Dactylis glomerata* (fig. 3, groupe A) dans le groupe D.

DISCUSSION

Cette étude met en évidence les variations importantes de réaction face à des charges différentes de pollution à l'ozone, parmi un grand nombre d'espèces herbacées appartenant à la communauté de prairie *Arrhenatheretalia*. En particulier, elle montre que si le régime hydrique semble jouer un rôle non négligeable dans la réponse de

Figure 3. Effets des différents traitements d'ozone (exprimés selon l'index d'accumulation AOT40) et du traitement humide sur le rendement de la biomasse totale (exprimé en % par rapport au contrôle) pour le total de l'année 1995. Les espèces utilisées, représentatives pour chacun des groupes, sont indiquées entre parenthèses



croissance des espèces, il ne peut être considéré comme un **facteur de protection** comme c'est le cas chez les céréales. De plus, cette étude souligne la grande **difficulté d'établir**, pour les communautés de prairie, un **niveau de concentration critique d'ozone** au dessus duquel des effets négatifs ont cours. Ceci parce que la notion de **réponse** au polluant ne peut être automatiquement assimilée à une baisse de croissance. Enfin, cette recherche démontre que la **formation de dégâts foliaires importants**, suite à des concentrations basses ou moyennes d'ozone, n'est pas forcément liée à une **modification de la croissance** en réponse au polluant (comme le montre p. ex. *Carum carvi*).

Un des principaux aspects révélés par notre étude est la grande correspondance entre les diverses réponses de croissance à l'ozone des espèces et la **théorie des stratégies de vie** de Grime (1977, 1993). Selon ce dernier, en effet, les espèces végétales peuvent se classer selon trois types de **stratégies écologiques** face aux différentes pressions sélectives environnementales, telles que les phénomènes de **stress** (limitant la production photosynthétique et donc la croissance de la plante) et de la **perturbation** (instabilité de l'habitat). De cette théorie, il ressort ainsi que :

- Les espèces dites **compétitives** (C) - croissance rapide, masse foliaire abondante - prédominent dans un milieu subissant un **faible stress** et une **faible perturbation**.
- Les espèces dites **rudérales** (R) - cycle de vie court, petite stature, graines nombreuses - prédominent dans un milieu subissant un **faible stress** accompagné d'une **forte perturbation**.
- Les espèces dites **stress-tolérantes** (S) - croissance lente, petites feuilles - prédominent dans un milieu à **fort stress** accompagné d'une **faible perturbation**.

Les espèces peuvent aussi présenter des **types intermédiaires** (du type CR, CSR, SR, etc).

Le tableau 3 résume les différents types de réponse au stress des espèces en fonction de la stratégie écologique adoptée et en indique les conséquences écologiques dans trois types d'habitats.

En regroupant les espèces étudiées selon le type de stratégie qui leur est assignée (Grime & al., 1996), on constate que la biomasse totale moyenne fournie par les espèces de type S n'est que peu ou très peu affectée par les différents traitements

Recherche

Figure 4. Moyenne de la biomasse totale produite en 1995 pour les espèces groupées selon leur type de stratégie, suivant le modèle de Grime, en fonction des traitements d'ozone et du régime humide (repris de Bungener, 1999b)

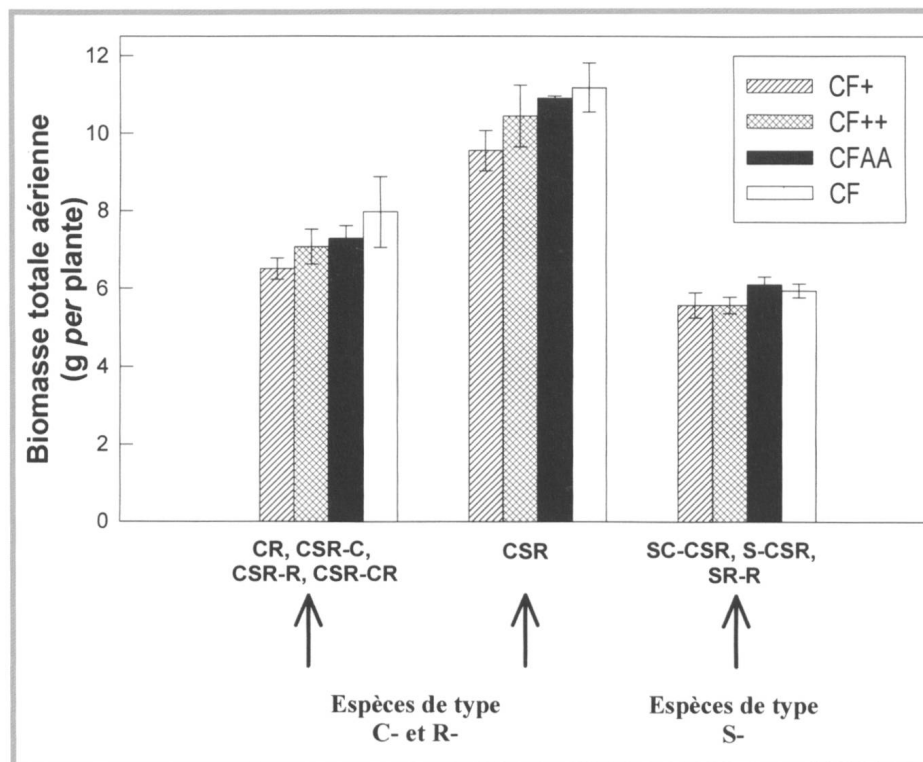


Tableau 3. Type de réponses au stress des espèces compétitives, rudérales et stress-tolérantes et leurs conséquences écologiques dans trois types d'habitat (repris de Grime, 1993)

Stratégie	Réponse au stress‡	Conséquences		
		Habitat 1*	Habitat 2#	Habitat 3†
Compétitif (C)	Changement rapide et important dans les rapports proportionnels entre partie inférieure (racines) et parties supérieures (feuilles et tige) avec modification des surfaces foliaires et racinaire	Nutrition minérale et hydrique maintenue permettant la formation d'une production élevée de matière organique → croissance rapide	Tendance à l'épuisement des réserves d'eau et des éléments minéraux contenus dans les racines et les feuilles, suivi d'un étiolement de la plante la conduisant à une forte susceptibilité fongique → disparition à long terme	L'impossibilité de produire rapidement des graines (une caractéristique de ce groupe) réduit les possibilités de repartir dans un milieu ayant subi des bouleversements (= modification de structure) → disparition à long terme
Rudéral (R)	Baisse de la croissance végétative et détournement de la production photosynthétique vers la formation exclusive des graines	Devient peu à peu dominée par les espèces de type C → disparition à long terme	La production de graines ne permet pas de compenser la vitesse de mortalité élevée des individus → disparition à long terme	La capacité à produire de nombreuses graines permet une résurgence rapide suite aux bouleversements dans le milieu → croissance et survie possibles
Stress-tolérant (S)	Changement faible dans la structure morphologique de la plante	Devient peu à peu dominée par les espèces de type C → disparition à long terme	Utilisation parcimonieuse des ressources hydriques et des produits de la photosynthèse (sucres, etc) → croissance et survie faible, mais possible	L'impossibilité de produire rapidement des graines (une caractéristique de ce groupe) réduit les possibilités de repartir dans un milieu ayant subi des bouleversements (= modification de structure) → disparition à long terme

‡ stress = tout facteur anthropogénique (ex. polluant) ou naturel (sécheresse) pouvant entraver, perturber ou modifier la productivité végétale dans un site donné

* milieu productif et stable (par ex., prairies intensives)

milieu non productif (= présence d'un stress) mais stable (par ex., steppe, toundra, milieux désertiques)

† milieu potentiellement productif mais instable (= modification de la structure du milieu) (par ex., jachères, gravières, surfaces rudérales, berges de cours d'eau)

d'ozone, alors que la croissance des espèces de types C et R est affectée de façon proportionnelle aux concentrations données du polluant (fig. 4). La réponse de croissance des différentes espèces étudiées semble, par conséquent, confirmer la théorie de Grime, et il est à prévoir que les espèces de stratégies C et R puissent être potentiellement plus menacées par une élévation de la pollution à l'ozone (jouant le rôle du stress) que les espèces de type S. Si un tel résultat est confirmé, nul doute que ce critère jouera un rôle déterminant dans l'analyse des risques écotoxicologiques posés par ce polluant sur les communautés naturelles.

Pour conclure, signalons que l'évaluation de l'effet de l'ozone sur les communautés végétales naturelles se heurte à deux difficultés majeures qui limitent la portée de nos résultats:

La première, c'est que les différences de réponse à l'ozone, entre les individus d'une même espèce, peuvent apparaître tout aussi importantes que celles présentes entre des taxons différents (Nebel & Fuhrer, 1994). Cette variabilité intraspécifique permettrait, avec le temps, une sélection des génotypes résistants au polluant dans une population végétale constamment exposée à l'ozone et conduirait à un accroissement de la résistance. Lyons & al. (1997) et Whitfield & al. (1997) ont montré la vraisemblance

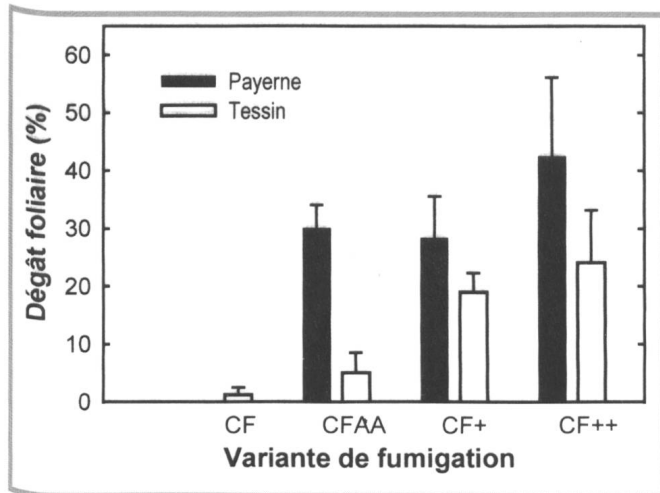


Figure 5. Relation entre les différents traitements d'ozone et les dégâts foliaires de deux populations de trèfle couché. (*Trifolium campestre*) (repris de Endtner, 1997)

d'une telle hypothèse chez *Plantago major*. Des réponses de ce type ont été également mise en évidence en Suisse. Ainsi, selon Endtner (1997), des individus de *Trifolium campestre* provenant du Tessin (région fortement polluée) ont été moins endommagés suite à des fumigations ultérieures que des individus issus d'une population provenant d'une région moins polluée (Payerne, VD) (fig. 5). Les effets à long terme de l'ozone sur les communautés de prairie pourraient ainsi potentiellement induire un changement de la composition génétique des espèces, en lieu et place d'une modification de composition floristique.

La seconde difficulté provient du fait que l'effet de compétition entre les espèces d'une communauté naturelle peut modifier de façon significative la réponse à l'ozone, comparativement à celle issues de plantes ayant crû en isolation. Ashmore & Ainsworth (1995) ont ainsi montré que *Festuca rubra*, plantée dans un mélange artificiel avec trois autres espèces, présentait un net accroissement lors de concentrations élevées du polluant. Isolée et soumise aux mêmes conditions d'ozone, cette espèce voit sa biomasse décroître. Si l'impact potentiel de la pollution à l'ozone sur la biodiversité des prairies se concrétise au fur et à mesure des travaux qui apparaissent, seule une étude *in situ* permettra à l'avenir de mieux évaluer les véritables conséquences pour ces communautés des charges dans l'air de ce polluant photochimique. C'est pour cela que nous effectuons actuellement, dans la région de Fribourg, la fumigation directe d'une prairie naturelle, à l'aide d'un nouveau système de fumigation en plein air (sans chambre à ciel ouvert, fig. 6).

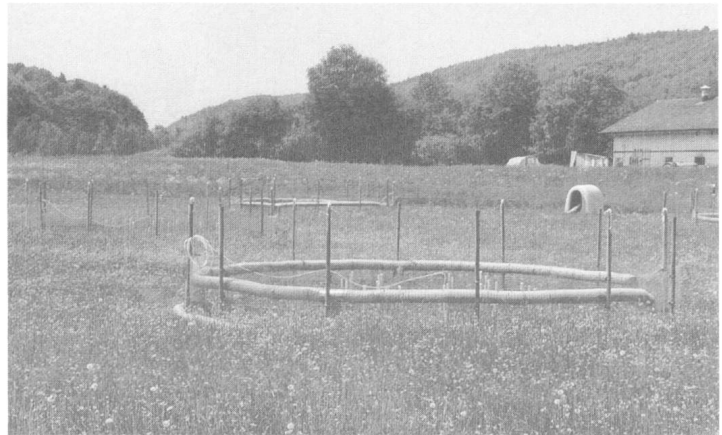


Figure 6. Système de fumigation en plein air dans la région de Fribourg

BIBLIOGRAPHIE

- ASHMORE, M. & N. AINSWORTH (1995). The effects of ozone and cutting on the species composition of artificial grassland communities. *Functional Ecology*, 9, p. 708 - 712.
- BUNGENER, P., G. R. BALLS, S. NUSSBAUM, M. GEISSMANN, A. GRUB & J. FUHRER (1999a). Leaf injury characteristics of grassland species exposed to ozone in relation to soil moisture condition and vapour pressure deficit. *New Phytologist*, 142, p. 271 - 282.
- BUNGENER, P., S. NUSSBAUM, A. GRUB & J. FUHRER (1999b). Growth response of grassland species to ozone in relation to soil moisture condition and plant strategy. *New Phytologist*, 142, p. 283 - 293.
- DAVISON, A. W. & J. D. BARNES (1998). Effects of ozone on wild plants. *New Phytologist*, 139, p. 135 - 151.
- ENDTNER, V. (1997). *Ozonempfindlichkeit von Trifolium campestre*. Diplomarbeit der Universität Bern.
- FUHRER, J. (1995). Critical level for ozone to protect agricultural crops : interaction with water availability. *Water, Air and Soil Pollution*, 85, p. 1355 - 1360.
- FUHRER, J. & B. ACHERMANN (éds.) (1994). *Critical levels for ozone : a UN-ECE workshop report*. Les cahiers de la FAC Liebefeld, no 16. Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement, Liebefeld - Berne.
- FUHRER, J. & B. ACHERMANN (éds.) (1999). *Critical levels for ozone - Level II*. Environmental

- Documentation no. 115. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape, Bern.
- FUHRER, J., L. SKÄRBY & M. R. ASHMORE (1997). Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *Environmental Pollution*, 97, p. 91 - 106.
- GRIME, J. P. (1977). Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist*, 111, p. 1169 - 1194.
- GRIME, J. P. (1993). Stress, competition, resource dynamics and vegetation processes, p. 45 - 63. In : Fowden, L., T. Mansfield & J. Stoddart (eds.), *Plant Adaptation to Environmental Stress*. Guernsey, James & James.
- GRIME, J. P., J. G. HODSON & R. HUNT (1996). *Comparative plant ecology. A functional approach to common British species*. Chapman & Hall, London.
- KÄRENLAMPI, L. & L. SKÄRBY (éds.) (1996). *Critical levels for ozone in Europe : testing and finalizing the concepts. UN-ECE Workshop Report*. University of Kuopio, Department of Ecology and Environment Sciences, Kuopio.
- LYONS, T. M., J. D. BARNES & A. W. DAVISON (1997). Relationship between ozone resistance and climate in European populations of *Plantago major*. *New Phytologist*, 136, p. 503 - 510.
- NEBEL, B. & J. FUHRER (1994). Inter- and intraspecific differences in ozone sensitivity in semi-natural plant communities. *Angewandte Botanik*, 68, p. 116 - 121.
- WHITFIELD, C. P., A. W. DAVISON & T. W. ASHENDEN (1997). Artificial selection and heritability of ozone resistance in two populations of *Plantago major*. *New Phytologist*, 137, p. 645 - 655.