

Zeitschrift: Saussurea : journal de la Société botanique de Genève
Herausgeber: Société botanique de Genève
Band: 33 (2003)

Artikel: Pollution à l'ozone : quelles conséquences pour la biodiversité végétale?
Autor: Bungener, Patrick
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098868>

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: 16.04.2026

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



Pollution à l’ozone: quelles conséquences pour la biodiversité végétale?

Patrick Bungener

Si nombre de médias romands ont parlé, durant nos semaines estivales, de pollution à l’ozone (connue aussi sous le terme de *smog estival*) et de ses fâcheuses conséquences sur la santé humaine (voir p.ex. les articles “Canicule: le smog estival dépasse la norme suisse” et “Genève s’égare dans le smog” dans la *Tribune de Genève* du 19 et celle du 21 juin 2002 derniers, peu, en revanche, ont rendu compte de sa toxicité pour les plantes et de son possible impact sur les communautés végétales naturelles...

Une problématique actuelle dans un contexte international : bref historique

On sait, depuis les années 40 et 50 déjà, au travers des premières études sur des plantes cultivées et ornementales menées en Californie et en Nouvelle-Angleterre, que des concentrations élevées d’ozone (O_3) dans l’air sont synonymes, chez bon nombre de végétaux, de dégâts foliaires visibles (nécroses), de baisse de croissance et de rendement, de diminution de la production de graines ou de fruits, et de sensibilité accrue à divers autres stress.

Le mécanisme d’absorption du polluant et son action au niveau cellulaire sont bien connus : en pénétrant dans les feuilles par le biais des stomates - ces petits orifices valvés propres aux surfaces foliaires, régulant les échanges de gaz entre la plante et l’atmosphère - l’ozone perturbe les processus physiologiques (tels que la photosynthèse) et entrave la croissance de la plante. La quantité d’ozone absorbée dépend directement du degré d’ouverture de ces orifices épidermiques,

lui-même tributaire des conditions météorologiques environnantes. Ainsi, par exemple, une lumière du jour intense, un degré élevé d’humidité de l’air ou du sol, peuvent, en favorisant l’ouverture stomatale, conduire une espèce à absorber une plus grande dose de polluant que lorsqu’elle est soumise à des conditions météorologiques opposées (p. ex. durant la nuit ou lors d’une période de sécheresse).

En 1979, en réponse à l’inquiétude internationale croissante suscitée par les problèmes d’acidification des lacs de Grande-Bretagne par des pluies acides résultant des émissions d’oxydes de soufre (SO_2) en provenance de Suède, la Commission économique pour l’Europe des Nations unies (CEE-ONU) instaurait à Genève la *Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance* (Convention de Genève). Ce premier traité international fixait des principes de coopération régionale visant à réduire les émissions polluantes présentes dans l’air, se déplaçant sur de longues distances et ne connaissant pas de frontières.

Depuis son entrée en vigueur en 1983, la Convention de Genève a adopté huit Protocoles. Ces derniers engagent les pays d'Europe, les Etats-Unis et le Canada à réduire leurs émissions polluant l'atmosphère, comme le dioxyde soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatiles (COV), les métaux lourds, les polluants organiques persistants (POP) et l'ozone (O₃). Pour permettre la mise en œuvre efficace et effective de ces Protocoles, cette Convention s'est attachée depuis le début, par le biais de son "Groupe de travail sur les effets", à associer intimement recherche environnementale et politique en encourageant et soutenant le développement d'études et de suivis scientifiques. Ainsi, l'élaboration, par les pouvoirs politiques, de mesures et de stratégies visant à la prévention et la réduction de la pollution atmosphérique peut-elle prendre appui sur des bases scientifiques solides.

Ces connaissances scientifiques sont mises en forme et développées par plusieurs groupes de recherche universitaires ou institutionnels issus de toute l'Europe, au sein des Programmes Internationaux Concertés (PIC) placés sous la tutelle du *Groupe de travail sur les effets*. Ces programmes évaluent les effets de la pollution, soit sur des écosystèmes, tels les forêts (PIC-Forêt), la végétation naturelle non ligneuse et les cultures (PIC-Végétation), les cours d'eaux et les lacs (PIC-Eaux), soit sur des monuments historiques et des biens culturels (PIC-Matériaux). L'ensemble de toutes les données acquises est intégré par le programme PIC-Modélisation, interface des autres programmes, dans des modèles dynamiques et des cartes géographiques pour évaluer et prévoir l'étendue des atteintes des polluants aux différents écosystèmes naturels et bâtis.

Le concept de niveau critique et son application dans le cas du *smog estival*

L'intégration des données scientifiques à une sphère politique nécessitait, dès le début, l'existence d'un concept faisant l'unanimité entre chercheurs et décideurs politiques. Ce concept devait permettre de quantifier les effets de l'accroissement ou de la réduction des émissions polluantes sur les écosystèmes.

Ainsi, en 1991, dans le cadre de sa lutte contre la pollution à l'ozone, la Convention adoptait en tant qu'instrument d'évaluation des effets de ce polluant, le concept de niveau de concentra-

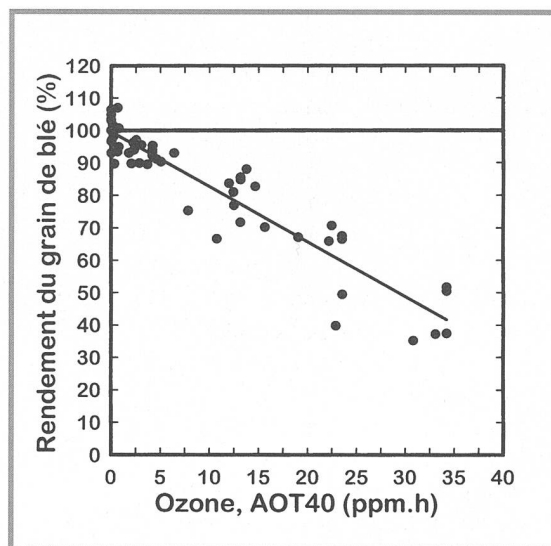


Figure 1. Relation entre le rendement du grain de blé et la concentration d'ozone dans l'air (exprimée par l'index d'exposition AOT40 mesuré à hauteur de végétation).

tion critique d'ozone dans l'air (*critical level*), niveau au-dessus duquel, en l'état actuel des connaissances, des effets négatifs pour la plante apparaissent. Ce niveau critique représente des doses cumulées d'ozone, calculées au-dessus d'un certain seuil sur des périodes de végétation, et appelées valeurs AOT40 (Accumulated Ozone over a Threshold of 40 ppb) (voir l'encart ci-dessous).

Si, suite aux travaux de recherche, ces niveaux critiques ont été relativement bien définis pour les cultures agricoles et les forêts, ils restent encore à l'étude pour les communautés naturelles autres que les formations végétales ligneuses¹.

Ainsi, pour les cultures, le niveau critique a été fixé à un AOT40 de 3 000 ppb. h, durant trois mois au cours de la période de croissance d'avril à mai, et correspond à une perte de 5 % du rendement du grain chez le blé. Cette céréale a été choisie comme référence en raison de sa grande sensibilité à l'ozone (fig. 1). Lorsque cette valeur se trouve être dépassée, cas fréquent en Suisse

¹ A noter que ces valeurs critiques ont été récemment rediscutées lors de la dernière session de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance qui s'est tenue à Göteborg (Suède)

L'indice AOT40

Cet indice mesure l'exposition à long terme de la végétation à l'ozone. Il se calcule comme étant la somme des différences entre les concentrations horaires en ozone (en ppb, parts *per* billion) et 40 ppb pour chaque heure diurne, lorsque la concentration dépasse 40 ppb.

Pour la Suisse romande, les valeurs moyennes d'AOT40 pour 1997, 1998 et 1999 correspondent, pour la période d'exposition de trois mois (mai à juillet), à 8400, 12100 et 9500 ppb.h respectivement, et pour la période de six mois (avril à septembre), à 16700, 20500 et 16700 ppb.h respectivement. Néanmoins, ces valeurs ne sont pas totalement exactes, puisqu'elles ne tiennent pas compte des données enregistrées en région genevoise, riche en pollution à l'ozone durant les étés caniculaires.

Pour la Suisse alémanique, les valeurs correspondantes sont de 8400, 12400 et 9000 ppb.h pour la période de trois mois, et de 16300, 20200 et 15600 ppb.h pour la période de six mois.

Enfin, pour la Suisse italienne, ces valeurs sont de 11700, 23800 et 17900 ppb.h pour la période de 3 mois, et de 24400, 33000, et 26900 ppb.h pour la période de 6 mois.

Il est important de mentionner que ces données se basent sur des valeurs de concentration d'ozone dans l'air mesurées à une hauteur située entre 1,5 et 2m du sol, et que la différence entre ces valeurs mesurées et les valeurs présentes à même la végétation (et donc comportant un risque écotoxicologique direct) peut être importante.

Source: rapport Nabel, OFEFP

Découverte

romande et au Tessin (voir l'encart), des risques de diminution de rendement pour l'ensemble des céréales se présentent; ceci en particulier lorsque l'absorption de l'ozone par les feuilles n'est pas limitée par des conditions de sécheresse.

Dans le cas des forêts, le niveau critique pour protéger les essences les plus sensibles a été fixé à un AOT40 de 10000 ppb. h durant une période de croissance de six mois, d'avril à septembre, et correspond, en fait, à une diminution de croissance du hêtre (*Fagus sylvatica* L.) de 9 %. Cette essence est répertoriée comme étant l'une des plus sensibles à l'ozone. Comme dans le cas des cultures, les valeurs enregistrées dans l'ensemble de la Suisse (voir l'encart) dépassent largement les seuils d'exposition fixés. Là également, pour une évaluation correcte des impacts, il faut tenir compte des facteurs environnants modifiant la réponse au polluant tels que, par exemple, l'humidité ambiante et la teneur en humidité du sol.

Enfin, pour les communautés naturelles non lignieuses comme, par exemple, les prairies, l'établissement d'un niveau critique d'ozone est en cours d'étude. Cependant, sa mise en place se heurte à deux difficultés majeures:

- La première difficulté provient du manque de données expérimentales. A la différence des espèces céréalières et forestières dont les réponses au polluant sont étudiées depuis plus de 30 ans, l'étude des effets de la pollution à l'ozone sur les espèces naturelles est relativement récente. Il est actuellement reconnu que la plu-

part des trèfles (en particulier *Trifolium repens*, le trèfle blanc) et un bon nombre d'espèces issues de la famille des Légumineuses sont sensibles à l'ozone. Les signes visibles de cette sensibilité sont un fort ralentissement de croissance et l'apparition rapide de dégâts foliaires. Néanmoins, au vu du très grand nombre d'espèces naturelles herbacées présentes en Europe, et si, comme le veut la Convention de Genève, le seuil d'exposition critique doit protéger l'espèce la plus sensible, alors un immense travail de recherche reste à faire. En effet, la plupart des études se sont focalisées sur des espèces propres aux communautés herbacées des zones du nord et du centre de l'Europe. Les espèces des régions méditerranéennes n'ont guère été étudiées, alors qu'elles constituent, pourtant, des flores d'une exceptionnelle richesse.

- La seconde difficulté provient de la conception actuelle du seuil d'exposition critique. En effet, comme on le voit pour les cultures et les forêts, le seuil d'exposition critique se définit principalement par des questions de diminution de croissance et de productivité des espèces. Or, il apparaît de plus en plus clairement qu'une telle définition se révélerait inadéquate pour les communautés herbacées naturelles. Les premiers travaux consacrés à ces dernières ont ainsi montré que des doses moyennes à élevées d'ozone dans l'air pourraient induire avant tout une modification de la composition floristique, voire une modification de la composition génétique des



Figure 2. La participation suisse au projet européen de recherche BIOSTRESS (adresse internet : http://www.uni-hohenheim.de/biostress/web_swiss/) vise à mieux évaluer les impacts de la pollution à l'ozone sur la diversité végétale des prairies naturelles in situ (en photo : vue du site expérimental en Gruyère fribourgeoise).

espèces. Soit, en un mot, un changement potentiel de la biodiversité de ces communautés.

Une pollution élevée à l'ozone peut-elle entraîner, à terme, une modification de la composition floristique des prairies ?

Entre 1995 et 1998, des travaux menés à la défunte Station fédérale de recherches à Liebefeld-Berne (FAC) ont montré la grande variété de réponse d'espèces sauvages de prairies croissant isolément et soumises à un stress d'ozone (cf. Bungener & Fuhrer, *Saussurea* 30, 1999). Si certaines de ces espèces voyaient leur croissance stimulée, d'autres, au contraire, présentaient un développement nettement ralenti. Dans le cas particulier de prairies artificielles ou de simples mélanges composés de quelques espèces de graminées et de trèfles, les résultats ont montré que la part des trèfles diminuait au profit des graminées sous l'effet de l'ozone, bien que le rendement à l'hectare restait identique !

Néanmoins, il reste très difficile, voire impossible, d'extrapoler l'ensemble de ces résultats, acquis sur des espèces isolées ou des mélanges simples, à des communautés herbacées dont la diversité floristique est très riche. En effet, des études ont montré qu'une même espèce peut réagir d'une manière très différente au polluant, en fonction de son âge,

de son origine, ou du fait qu'elle croisse isolément ou en compétition avec d'autres espèces.

C'est dans ce cadre que le projet de recherche européen BIOSTRESS (acronyme pour *biodiversité des écosystèmes herbacés semi-naturels perturbés par des éléments issus de modifications à l'échelle planétaire* - adresse internet : <http://www.uni-hohenheim.de/biostress>) (fig. 2) a été lancé pour trois ans (2000-2002) dans le cadre du cinquième programme-cadre de recherche et développement de la Communauté Européenne. Son but est de mieux examiner l'impact potentiel d'une élévation de la pollution à l'ozone sur la diversité floristique des communautés herbacées naturelles et d'aider à définir les seuils d'exposition critique de ce polluant pour la protection de ces écosystèmes.

Une pollution élevée à l'ozone peut-elle induire, à long terme, une modification de la composition génétique des espèces prairiales ?

Des travaux menés à l'université de Newcastle (UK) et à l'ancienne Station fédérale de recherches à Liebefeld-Berne ont montré la capacité de certaines espèces naturelles - telles le grand plantain (*Plantago major*) et le trèfle des champs (*Trifolium campestre*) - à développer des mécanismes de résistance face au polluant.

Des études et observations menées dans des zones moyennement à fortement polluées à l'ozone au Nord de l'Italie, dans la région neuchâteloise, au Tessin et dans le canton de Genève ont montré la grande variabilité de sensibilité à l'ozone d'individus à l'intérieur de populations de centauree jaccée (*Centaurea jacea* L.) (fig. 3). La comparaison d'individus sains (sans nécroses dues à l'ozone) avec des individus fortement nécrosés après le passage d'importants pics d'ozone ont montré, après avoir été transplantés du champ en laboratoire et soumis à des conditions contrôlées où seul le stress d'ozone persistait, que cette variation observée résultait, la plupart du temps, de différences génotypiques.

La large variabilité génétique présente et connue au sein des espèces sauvages permettrait donc, avec le temps, une sélection naturelle des génotypes résistants à l'ozone dans une même population fortement exposée au polluant et conduirait, ainsi, à un accroissement de la résistance.

On observe ainsi, dans des zones de prairies touchées chaque été par des charges moyennes



Figure 3. La centaurée jacée (*Centaurea jacea* L., ici un pied non fleuri), une espèce bioindicatrice de la pollution à l'ozone.

ou élevées de polluant (fig. 4), que seule une infime quantité d'individus nécrosés subsiste dans des populations d'espèces reconnues pour leur forte sensibilité à l'ozone (trèfles et la plupart des représentants des légumineuses). Dans le cas de la centaurée, on observe, au contraire, un plus grand nombre d'individus nécrosés que d'individus résistants dans ces zones.

Si, avec le temps, une sélection à l'ozone affecte la plupart des espèces dites sensibles, pourquoi cette sélection n'affecte-t-elle pas la centaurée? Le fitness (succès reproducteur) de cette espèce se voit-il être stimulé en réponse au dommage foliaire causé par le polluant, au contraire des autres espèces, contredisant alors les modèles traditionnels traitant des effets physiologiques de l'ozone sur les plantes?

Bref, on le voit, c'est toute la complexité des relations entre la sélection naturelle et la résistance des plantes à un stress environnemental qui se profile derrière cette problématique intéressante et qui nécessiterait des études approfondies.

Développement de clones de centaurée sensibles et résistants à la pollution à l'ozone

C'est suite aux observations décrites ci-dessus que la Suisse a été mandatée par le Programme PIC-Végétation pour développer des clones de *Centaurea jacea* sensibles et résistants à la l'o-



Figure 4. Une des surfaces de compensation écologique (jachère florale) à Genève (ici la région meyrinoise) et qui contient une forte densité d'individus de *Centaurea jacea* nécrosés par la pollution à l'ozone.

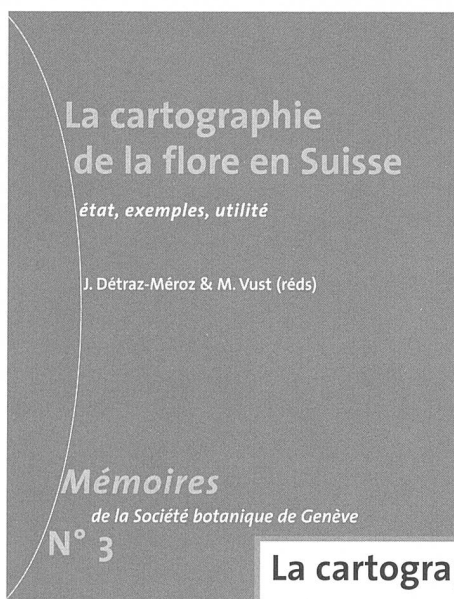
zone dans le cadre du biomonitoring de ce polluant sur le plan européen. L'emploi, pour ce travail, de techniques appropriées - micropropagation et multiplication *in vitro* - est actuellement examiné. Les premiers tests, établis sur des plantes genevoises issues des régions de Soral et de Satigny, sont en cours de développement. Pour conclure, on peut d'ores et déjà affirmer que la mise en place de clones sensibles et résistants à l'ozone chez cette *Asteraceae* à reproduction sexuée pourrait stimuler des études dans un domaine encore peu examiné des chercheurs: la compréhension, chez les espèces naturelles, des mécanismes génétiques sous-jacents à la transmission héréditaire de la résistance à l'ozone, actuellement le polluant atmosphérique principal de nos contrées en été.

Texte et photographies

Patrick Bungener

18 rue de Carouge
1205 Genève
email : bungener@bluewin.ch

Le volume 3 des "Mémoires de la Société botanique de Genève" vient de paraître !



Il rassemble les contributions des intervenants du symposium de cartographie organisé à l'occasion du 125^e anniversaire de la Société botanique de Genève.

Les dix articles de ce volume sont autant un aperçu de ce qui se fait en Suisse aujourd'hui en matière de cartographie de la flore qu'un sujet de réflexion quant aux méthodes utilisées, suivant les organismes et les courants de pensée.

La cartographie de la flore en Suisse *état, exemples, utilité*

J. Détraz-Méroz & M. Vust (réds)

Avant-propos	M. Vust	5
Festivités du 125 ^e anniversaire de la Société botanique de Genève	J.-P. Theurillat	6
L'inventaire des muscinées suisses, une cartographie comme une autre?	E. Urmi	15
Mapping epiphytic lichens of Switzerland	C. Scheidegger	21
Cartographie des lichens terricoles de Suisse	M. Vust	27
Pour une mise à jour permanente des connaissances floristiques en Suisse : le Centre du Réseau Suisse de Floristique (CRSF)	B. Bäumler	43
Floristic mapping of the city of Zürich on a 1 km ² scale	E. Landolt	47
Quelques résultats du projet de cartographie floristique du canton de Genève	C. Latour	51
Alpine plant species richness in the Swiss Alps : diversity hot spots reconsidered	T. Wohlgemuth	63
Analyse du paysage et richesse floristique : Exemple genevois	N. Wyler	75
Monitoring de la biodiversité en Suisse	U. Hintermann, D. Weber, A. Zangger & J. Schmill	87
Approches floristique et faunistique : concordances et discordances	Y. Gonseth	103

Bulletin de commande

Je commande... *exemplaire (s)* du Volume 3 des "Mémoires de la Société botanique de Genève",
au prix de CHF 40.- (27 Euro) par *exemplaire*, + frais de port.

Nom :

Adresse :

Tél. : E-mail :

Date : Signature :

À envoyer aux :

Publications de la Société botanique de Genève, Case postale 60, CH-1292 Chambésy / GE