



**Conseil économique  
et social**

Distr.  
GÉNÉRALE

ECE/EB.AIR/WG.1/2007/9  
31 mai 2007

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

Vingt-sixième session  
Genève, 29-31 août 2007  
Point 4 de l'ordre du jour provisoire

DERNIERS RÉSULTATS ET ÉTAT ACTUEL DES CONNAISSANCES  
SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

**MÉTHODE DE MODÉLISATION D'ELLENBERG VISANT À METTRE  
EN ÉVIDENCE LA VÉGÉTATION (SEMI-)NATURELLE  
MENACÉE PAR L'OZONE**

Rapport établi par le Centre de coordination du Programme international  
concerté relatif aux effets de la pollution atmosphérique sur la  
végétation naturelle et les cultures (PIC-Végétation)

**INTRODUCTION**

1. En Europe, les concentrations d'ozone de fond continuent d'augmenter. De multiples études ont montré qu'un grand nombre d'espèces végétales (semi-)naturelles en Europe pourraient être menacées par la pollution par l'ozone. Alors que l'ozone nuit fortement à certaines espèces, il semble en revanche en stimuler d'autres. Une proportion importante d'espèces exposées à l'ozone qui ont été examinées dans le cadre d'études présentaient une ou plusieurs des réactions suivantes: lésion visible, vieillissement prématuré et accéléré, variations de la biomasse, de l'allocation des ressources et/ou de la production de semences. Chacun de ces effets étant susceptible d'influer sur la vitalité des communautés végétales, il s'est avéré de plus en plus nécessaire de rassembler les informations parues afin de déterminer quelles

communautés en Europe pourraient être sensibles à l'ozone. Jusqu'à présent, les effets de l'ozone n'ont été étudiés que sur une partie relativement faible de la flore européenne et il est matériellement impossible d'étudier toutes les espèces pour voir leur réaction à l'ozone. En conséquence, pour pouvoir évaluer les effets de l'ozone sur la végétation (semi-)naturelle, il faut disposer d'outils permettant des extrapolations à partir des connaissances actuelles afin de prévoir les réactions du reste de la flore.

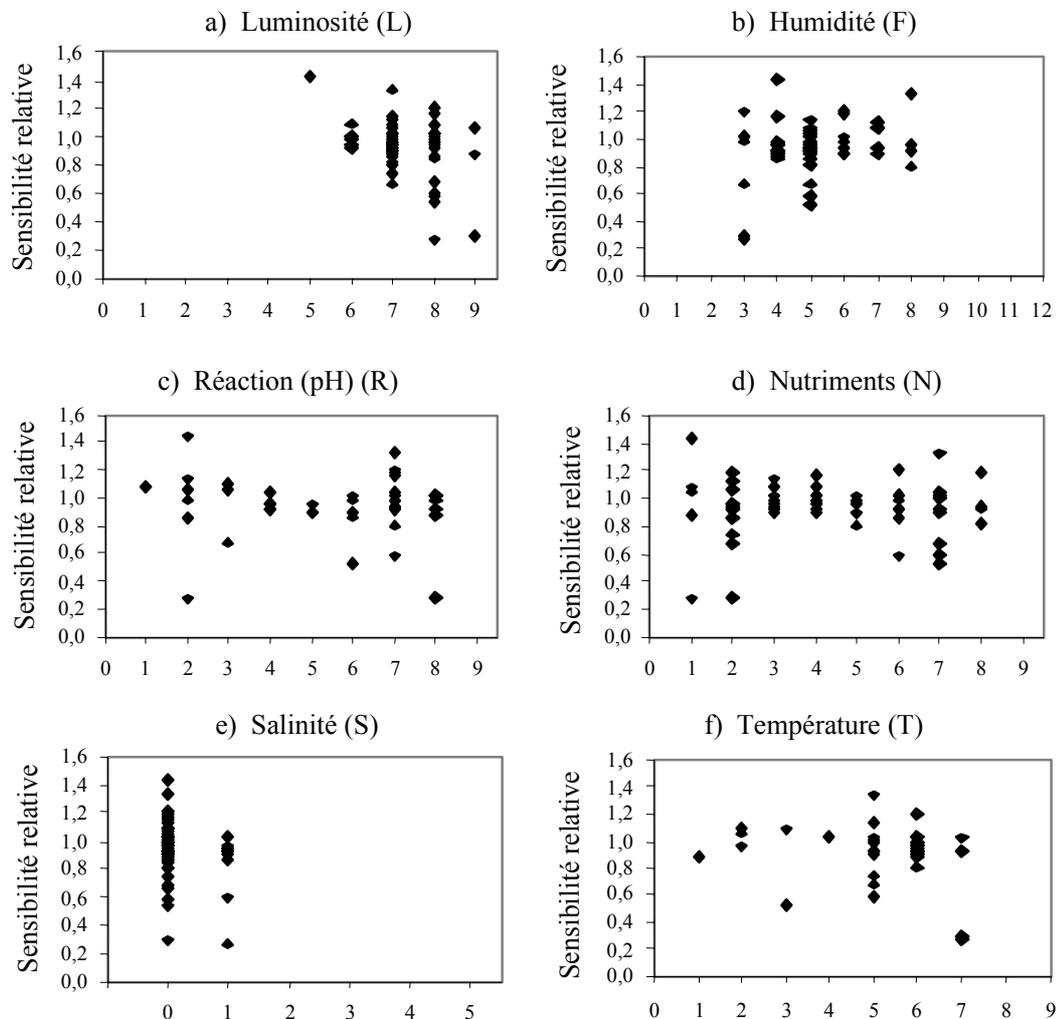
2. L'ensemble des données dont on dispose actuellement a été rassemblé dans une base de données appelée OZOVEG (effets de l'ozone sur la végétation) pour permettre l'identification des espèces sensibles à l'ozone et l'analyse des relations entre la sensibilité à l'ozone et les caractéristiques des végétaux. Une méta-analyse des réactions de la biomasse de 83 espèces a montré que les valeurs indicatrices d'Ellenberg constituaient le meilleur outil de prévision de la sensibilité à l'ozone de différentes espèces (Hayes *et al.*, 2007). Les indicateurs d'Ellenberg ont été largement utilisés en écologie pour interpréter les réactions aux gradients environnementaux ou aux modifications des communautés végétales dans le temps. Le principal avantage des indicateurs d'Ellenberg est que des valeurs ont été assignées à la plupart de la flore européenne tempérée, soit presque 3 000 espèces en tout (Ellenberg *et al.*, 1991). En conséquence, parvenir à établir une forte corrélation entre la sensibilité à l'ozone et les valeurs indicatrices d'Ellenberg offre un point de départ très précieux pour prévoir la sensibilité de la plupart des espèces de la flore européenne. Cela permet de passer d'une estimation de la sensibilité à l'ozone de différentes espèces à une estimation de celle de l'ensemble des communautés basée sur les réactions des espèces qui les composent. Les résultats de la méthode de modélisation d'Ellenberg sont présentés ici conformément au plan de travail 2007 (point 3.5).

## I. ÉLABORATION D'UN MODÈLE DE PRÉVISION MONOESPÈCE

3. Pour chacune des 83 espèces de la base de données OZOVEG, la réaction à l'ozone a été déterminée par la régression des variations de la biomasse observées dans diverses conditions d'exposition à l'ozone par rapport à un contrôle. En se basant sur ces informations, on a calculé un indice de sensibilité RS (sensibilité relative) pour chacune des espèces, qui a été normalisé pour devenir la réaction de la biomasse à 15 parties par millions heure (ppm h) comparée à celle à 3 ppm h (Hayes *et al.*, 2007). Une valeur de RS égale à 1 indique qu'il n'y a pas de variation de la biomasse due à l'ozone, une  $RS < 1$  indique une réduction et une  $RS > 1$  une augmentation; par conséquent,  $RS = 0,80$  indique une réduction de 20 % de la biomasse. Seules 65 espèces de la base de données étaient utilisables pour l'élaboration du modèle d'Ellenberg car certaines, d'origine américaine ou méditerranéenne, n'étaient pas dotées de valeurs indicatrices d'Ellenberg et une minorité n'étaient pas dotées d'une valeur indicatrice d'Ellenberg précise en raison de l'importance de leur sphère écologique.

4. La figure 1 illustre les liens existant entre la RS et chacune des valeurs indicatrices d'Ellenberg évaluée. L'analyse de régression a montré que les plantes photophiles étaient plus sensibles à l'ozone que celles qui se développent normalement à l'ombre. Toutefois, les espèces représentant les valeurs d'Ellenberg les plus tolérantes à l'ombre (1-4) ne figurent pas dans la base de données OZOVEG. Les végétaux d'une valeur d'humidité de 3 (indicateur de la sécheresse d'un site) tendaient à être plus sensibles à l'ozone que ceux trouvés dans des sols plus humides. Les végétaux qui peuvent tolérer un environnement d'une salinité modérée (valeur de salinité d'Ellenberg de 1) sont plus sensibles que ceux des habitats non salins. Il convient de noter, toutefois, que les espèces dotées des valeurs de salinité d'Ellenberg situées entre 2 et 9

ne sont pas représentées dans la base de données OZOVEG. Il n'existe aucune corrélation entre les valeurs d'Ellenberg de nutriments, de «réaction» (pH) ou de température avec la sensibilité à l'ozone. La base de données OZOVEG constitue une représentation assez fidèle de la répartition des espèces dans la flore européenne, à l'exception de certaines des valeurs d'Ellenberg de faible luminosité, et des valeurs d'Ellenberg d'humidité et de salinité élevées (Jones *et al.*, 2007).



**Figure 1.** Lien existant entre la sensibilité relative (RS) à l'ozone et les différents indicateurs d'Ellenberg: a) de luminosité, b) d'humidité, c) de réaction (pH), d) de nutriments, e) de salinité et f) de température. En ce qui concerne la salinité, seules les valeurs basses de l'échelle apparaissent (Jones *et al.*, 2007).

5. Vraisemblablement, c'était en combinant des indicateurs d'Ellenberg qu'on obtiendrait la meilleure capacité prédictive. On a donc utilisé la régression linéaire multiple pour élaborer le modèle et l'équation 1 était le meilleur facteur prédictif pour les différentes espèces (Jones *et al.*, 2007):

$$RS_p = 1,805 - 0,118Lumière - 0,135\sqrt{Salinité} \quad (1)$$

$RS_p$  est la sensibilité relative prévue, la luminosité est la valeur d'Ellenberg de luminosité et la salinité est la valeur d'Ellenberg de salinité pour les espèces faisant l'objet de la prévision. La racine carrée de la salinité sert à réduire l'influence des valeurs de salinité élevées sur les prévisions de la sensibilité à l'ozone. Ceci s'explique par le fait que l'échelle pour cet indicateur monte jusqu'à 9 pour les espèces submergées des habitats des marais salés et que les effets prévus de l'ozone sur les espèces à valeur élevée de salinité ne peuvent être corroborés par la couverture des espèces dans la base de données OZOVEG.

## II. APPLICATIONS DU MODÈLE À L'ÉCHELON DES COMMUNAUTÉS

6. L'étape importante suivante a été d'appliquer la méthode à des communautés entières pour prévoir la variation nette de la biomasse en réaction à l'ozone et pour mettre au point une graduation de la sensibilité de différentes communautés végétales. Une estimation de la variation nette de la biomasse requiert l'établissement d'une liste des espèces dominantes dans une communauté qui soient les plus importantes possibles par rapport à la couverture totale. La  $RS_p$  a été calculée pour chaque espèce à l'aide de l'équation 1 et la différence de  $RS_p$  depuis l'état théorique correspondant à une absence de variation ( $RS_p=1$ ) a été calculée (à savoir  $RS_p-1$ ). Le pourcentage net de variation de la biomasse dans la communauté, appelé indice de réaction à l'ozone ( $ORI\%$ ) a alors été calculé en établissant la moyenne des variations prévues de la biomasse pour toutes les espèces de la communauté et en multipliant le résultat par 100 pour obtenir une variation en pourcentage:

$$ORI\% = \frac{\sum_{i=1}^n (RS_{p_i} - 1)}{n} \times 100 \quad (2)$$

$RS_{p_i}$  est la  $RS$  prévue pour les espèces  $i$  et  $n$  est le nombre d'espèces utilisées pour prévoir la variation de la biomasse.

7. L'application de l'équation 2 aux données sur la base de la présence simple ou de l'absence d'espèces permet d'obtenir une estimation approximative de la variation nette prévue de la biomasse, en partant toutefois du principe que toutes les espèces sont également représentées dans la couverture. On obtiendra une estimation plus réaliste en pondérant la variation prévue de la biomasse par une certaine mesure de l'abondance relative de chaque espèce. La pondération de la couverture se fait comme suit: la  $RS_p$  est obtenue pour chaque espèce et la différence à partir de  $RS_p=1$  est calculée comme dans l'équation 2 ci-dessus. Le résultat est alors multiplié par la couverture en pourcentage pour chaque espèce et toutes les valeurs sont additionnées pour donner la variation nette. La valeur finale est rapportée à une proportion de la couverture totale connue dans la communauté afin de donner la prévision pondérée de la couverture de la variation nette de la biomasse  $ORI\%_{cw}$ :

$$ORI\%_{cw} = \frac{\sum_{i=1}^n [(RS_{p_i} - 1) \times (couverture_i)]}{\sum_{i=1}^n (couverture_i)} \times 100 \quad (3)$$

$couverture_i$ , étant la couverture en pourcentage ou une autre mesure de l'abondance des espèces  $i$ .

### III. ESSAIS DU MODÈLE SUR LE TERRAIN

8. À titre d'exemple, on a appliqué ces méthodes à la seule communauté végétale sur laquelle ces techniques peuvent pour l'instant être testées: l'essai d'exposition sur le terrain au Mouret, en Suisse. Il s'agissait d'un système de prairie de moyenne altitude à productivité faible à moyenne (environ  $0,9 \text{ kg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ) comprenant 53 espèces de plantes vasculaires. L'étude a porté sur une exposition à l'ozone pendant cinq ans à une concentration accumulée moyenne supérieure au seuil de 40 parties par milliard (ppb), l'AOT40, de 34,0 ppm h. Les résultats, comparés à une concentration de fond d'ozone moyenne de 8,4 ppm h, ont montré une variation nette de la biomasse aérienne de -23 % (Volk *et al.*, 2006). Aux fins de comparaison exacte avec les outils d'ORI%, la variation de la biomasse au Mouret a été recalculée en fonction de l'exposition à l'ozone réelle chaque année. Le résultat a été une variation de la biomasse cumulée de -22,3 % sur cinq ans. L'ORI% et l'ORI<sub>cw</sub> ont été calculés en fonction des données sur la présence et l'abondance des espèces au Mouret pour chaque année. Il en est résulté une variation prévue cumulée de la biomasse aérienne de -21,5 % pour la méthode d'ORI% et une prévision pondérée de la couverture cumulée de -26,9 % pour la méthode d'ORI<sub>cw</sub> sur les cinq années (Jones *et al.*, 2007). Les résultats obtenus pour Le Mouret montrent que les deux méthodes prévoient avec justesse le sens de la réaction et donnent une prévision assez proche de la variation réelle de la biomasse. Toutefois, il convient de noter que la variation de la biomasse sur le terrain a fait apparaître un décalage important dans la réaction à l'ozone (Volk *et al.*, 2006) alors que les variations prévues grâce à l'ORI<sub>cw</sub> étaient assez similaires d'une année sur l'autre puisque la prédominance relative des espèces dans la communauté n'avait pas varié de façon sensible et que le nombre d'espèces n'avait pas fortement diminué. En conséquence, si l'on peut prévoir le sens de la variation grâce aux paramètres de l'ORI, ce sont les échelles de temps qui sont aléatoires lorsque les communautés sont susceptibles de changer.

### IV. ÉLABORATION D'UN INDICE DE SENSIBILITÉ DE LA COMMUNAUTÉ

9. La deuxième application possible du modèle consiste à prévoir la sensibilité d'une communauté à l'ozone puisqu'une estimation de la variation prévue de la biomasse aérienne peut ne pas refléter toute la réalité. Par exemple, comme les espèces de grande valeur écologique ont généralement une faible couverture et sont peu fréquentes dans une communauté, les prévisions pondérées de la couverture de la variation de la biomasse ne feront pas apparaître de risque potentiel pour ces espèces. De plus, si l'ozone nuit à de nombreuses espèces, il en stimule d'autres. La présence simultanée d'espèces touchées positivement et négativement dans une même communauté peut avoir un effet compensatoire se traduisant par une faible variation prévue de la biomasse qui masque les modifications écologiques réelles de la composition de la communauté. C'est pour ces raisons qu'on a mis au point un outil séparé afin de prévoir la sensibilité d'une gamme de communautés. Il s'agit de l'indice de réaction de la communauté à l'ozone (CORI) qui a été calculé selon la méthode ci-après. On a obtenu une liste des espèces de la communauté. La  $RS_p$  de chacune des espèces a été prévue et on a calculé la différence entre la  $RS_p$  et l'état théorique sans variation (à savoir  $RS_p-1$ ). Afin de donner plus de poids aux espèces les plus durement touchées par l'ozone et pour tenir compte des espèces qui réagissent à la fois positivement et négativement à l'ozone, on a calculé la moyenne quadratique de  $RS_p-1$  pour toutes les espèces. L'indice ainsi obtenu a été évalué sur une échelle de 0 à 10 à l'aide d'une

valeur maximale théorique basée sur la variation prévue maximale de la biomasse de toute espèce de la flore européenne (69 % à l'aide de l'équation 1 susmentionnée):

$$CORI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (RS_{p_i} - 1)^2}{n}} \times \frac{10}{0,69} \quad (4)$$

10. Cette technique a été appliquée à 48 communautés de prairies et de montagne du système de classification nationale des végétaux (NVC) du Royaume-Uni (Rodwell, 1992), correspondant au niveau 4 de la classification du Système européen harmonisé d'information sur la nature (EUNIS). Le choix de cette classification a été guidé par la disponibilité immédiate de listes d'espèces complètes pour les communautés de la NVC. Les valeurs prévues du CORI pour ces communautés de prairies et de montagne oscillaient entre 1,53 et 4,75. Dans la réalité, la valeur du CORI de la plupart des communautés se situera dans la moitié inférieure de l'échelle, puisque la majorité des espèces de la flore européenne ne sont pas fortement touchées par l'ozone. Le tableau 1 présente les cinq communautés les plus sensibles et les cinq communautés les moins sensibles parmi les 48 testées. Les deux communautés prévues comme étant les plus sensibles à l'ozone étaient les prairies calcaires (CG2 et CG3) et les deux communautés prévues comme étant les moins sensibles à l'ozone étaient également les prairies calcaires (CG8 et CG9). Il semblerait donc que la sensibilité d'une communauté dépende fortement des espèces qui la composent plutôt que du type générique de communauté.

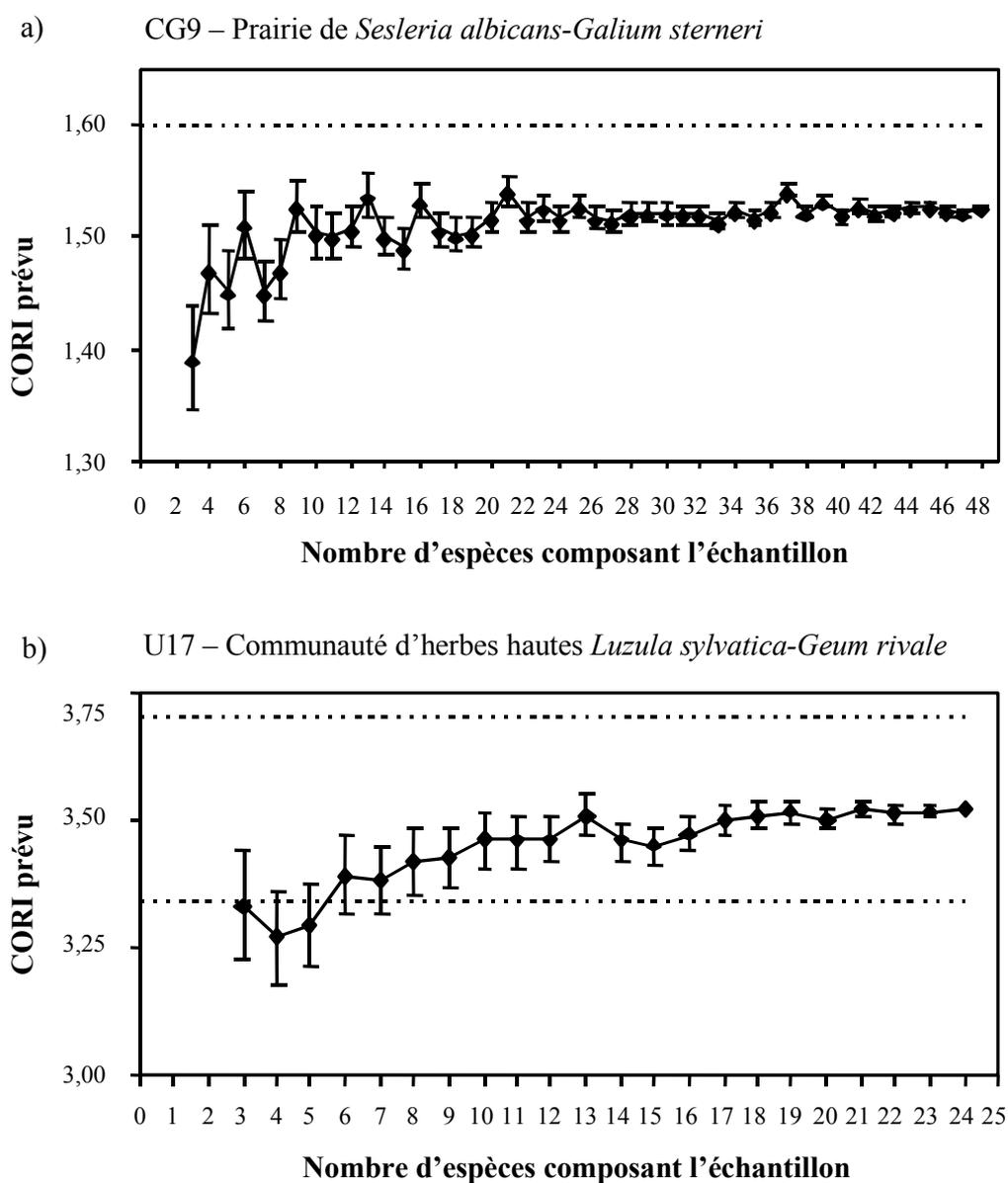
**Tableau 1.** Prédiction de la sensibilité d'une communauté à l'ozone à l'aide de l'indice de réaction de la communauté à l'ozone (CORI) situé entre 0 et 10, appliquée à 48 communautés de prairies issues du système de classification nationale des végétaux (NVC) du Royaume-Uni. Y sont présentées les cinq communautés les plus sensibles ainsi que les cinq communautés les moins sensibles (Jones *et al.*, 2007).

Code NVC	Descriptif de la communauté du NVC		CORI (0–10)
<b>Communautés les plus sensibles</b>			
CG2	<i>Festuca ovina-Avenula pratensis</i>	prairie	4,75
CG3	<i>Bromus erectus</i>	prairie	4,49
U17	<i>Luzula sylvatica-Geum rivale</i>	communauté à hautes herbes	3,52
U2	<i>Deschampsia flexuosa</i>	prairie	3,17
U1	<i>Festuca ovina-Agrostis capillaris-Rumex acetosella</i>	prairie	3,11

Code NVC	Descriptif de la communauté du NVC		CORI (0-10)
<b>Communautés les moins sensibles</b>			
MG4	<i>Alopecurus pratensis-Sanguisorba officinalis</i>	prairie	1,86
MG5	<i>Cynosurus cristatus-Centaurea nigra</i>	prairie	1,86
U12	<i>Salix herbacea-Racomitrium heterostichum</i>	communauté de combe à neige	1,67
CG8	<i>Sesleria albicans-Scabiosa columbaria</i>	prairie	1,56
CG9	<i>Sesleria albicans-Galium sternerii</i>	prairie	1,53

## V. ANALYSE DE LA SENSIBILITÉ

11. Pour calculer une valeur de CORI pour une communauté, il est fondamental de disposer d'une liste des espèces et de leurs valeurs d'Ellenberg. La question qui se pose alors est la suivante: combien d'espèces faut-il pour obtenir une estimation fiable du CORI? On a procédé à une analyse de la sensibilité en utilisant deux communautés de la NVC présentées dans le tableau 1 afin de déterminer le nombre minimal d'espèces nécessaire pour produire une estimation acceptable de la sensibilité de la communauté. On a choisi les communautés constituées d'une richesse en espèces contrastée. La liste des espèces pour la prairie calcaire CG9 comprenait 48 espèces typiques contre 24 pour la communauté de montagne à hautes herbes U17. Une routine d'échantillonnage répété fonctionnant sous le programme Minitab v14.1 a été conçue grâce à laquelle on a prélevé des échantillons aléatoires d'espèces de la communauté et calculé la valeur de leur CORI. Initialement, l'échantillon a porté sur trois espèces, avant d'être augmenté d'une espèce à la fois jusqu'à ce qu'elles aient toutes été incluses. Pour chaque taille de sous-ensemble testé, la population a été échantillonnée 200 fois et on a calculé le CORI moyen ainsi que l'erreur type (fig. 2). Les résultats montrent que pour parvenir à être en toute fiabilité dans les 5 % de la valeur du CORI, il faut un échantillon de neuf espèces. Comme seule une proportion relativement faible de la flore européenne est durement touchée par l'ozone, des tailles d'échantillons plus réduites pourraient conduire à une sous-estimation de la sensibilité. En conséquence, l'estimation du CORI augmente en fonction de la taille des échantillons jusqu'à ce qu'elle approche sa valeur calculée. Le nombre minimum d'espèces nécessaires pour réaliser une estimation fiable augmentera légèrement en fonction de la richesse des espèces de la communauté. En outre, la variabilité de la prévision évoluera en même temps que la communauté, selon la sensibilité des espèces qui la composent.



**Figure 2.** L'analyse de la sensibilité montre comment le CORI prévu varie en fonction de l'augmentation de la taille de l'échantillon dans deux communautés dont la richesse des espèces est très différente puisque dans a)  $n=48$  espèces et dans b)  $n=24$  espèces. Les petites barres représentent plus ou moins une erreur type. Les lignes horizontales constituées de points représentent un écart de plus ou moins 5 % de la valeur du CORI calculée à partir de toutes les espèces disponibles (Jones *et al.*, 2007).

## VI. ANALYSE

12. Le principal avantage du modèle réside dans le fait qu'il peut s'appliquer à toutes les espèces végétales européennes pour lesquelles des valeurs d'Ellenberg ont été attribuées, soit au total près de 3 000 espèces et sous-espèces. La prudence est de mise lorsqu'on prévoit la sensibilité à l'ozone de certaines espèces à l'aide de ce modèle en raison de leur faible représentation dans la base de données de départ. Il s'agit des espèces qui se sont très bien adaptées à l'ombre, des plantes aquatiques ou périodiquement immergées et des espèces halophytes. Pour les Européens, une des faiblesses de ce modèle est son application limitée aux régions méditerranéennes en raison du peu d'espèces d'Europe du Sud pour lesquelles des valeurs d'Ellenberg ont été attribuées.

13. On connaît mal les mécanismes sous-jacents qui permettent aux valeurs d'Ellenberg de prévoir la sensibilité à l'ozone. La faiblesse du lien qui existe entre la sensibilité à l'ozone et la densité des stomates (Hayes *et al.*, 2007) laisse à penser que les influences physiologiques doivent être complexes. Quel qu'en soit le mécanisme, ces résultats constituent des indications importantes pour les nouvelles pistes de recherche dans ce domaine.

14. Les prévisions à l'échelle de la communauté dans ce modèle ne prennent pas en compte les effets possibles des interactions concurrentielles entre les espèces. Cette simplification est due au fait que les recherches jusqu'à présent ont porté essentiellement sur les réactions individuelles des espèces à l'ozone et que la modélisation des interactions entre les espèces est complexe et nécessite des informations très détaillées dont on ne dispose pas pour la plupart des espèces. Jusqu'à présent il n'y a eu qu'une seule fumigation d'ozone à l'échelle d'une communauté sur le terrain (Volk *et al.*, 2006). On ne dispose donc que de peu de données empiriques sur la façon dont les interactions entre les espèces pourraient influencer sur les réactions de la communauté à l'ozone.

## VII. CONCLUSIONS ET DÉFIS FUTURS

15. La méthode de modélisation d'Ellenberg est un outil utile pour prévoir la sensibilité d'une communauté végétale à l'ozone. Elle complète les travaux d'élaboration de modèles fondés sur les flux pour la végétation (semi-)naturelle et de techniques qui prévoient la réaction des communautés pour lesquelles on connaît la sensibilité à l'ozone de nombreuses des espèces qui les composent (Mills *et al.*, 2007). Les applications éventuelles de la méthode de modélisation d'Ellenberg sont: l'examen minutieux des communautés en vue de déterminer leur sensibilité à l'ozone; le recours aux charges critiques pour fixer le seuil des variations de la biomasse à partir duquel considérer les communautés comme étant «menacées»; le ciblage d'espèces ou de communautés susceptibles de faire l'objet d'une étude approfondie ultérieurement; et la modification de l'outil que constitue le CORI pour lui adjoindre une pondération de rareté pour les espèces qu'il est important de protéger.

16. Il faut mener davantage de recherches, surtout parce qu'il est nécessaire de disposer d'expériences sur l'exposition à l'ozone sur le terrain à l'échelle de la communauté pour valider les prévisions utilisant l'ORI% et le CORI. On a besoin d'expériences concernant l'exposition à l'ozone qui évaluent ses effets sur l'ensemble de la biomasse des végétaux plutôt que sur les réactions de la biomasse aérienne uniquement, bases du modèle actuel. On a également besoin d'évaluer si les réactions observées des espèces demeurent identiques lorsque les végétaux se

développent en concurrence les uns avec les autres et lorsqu'ils sont exposés à l'ozone sur le terrain dans des conditions plus naturelles. Enfin, il faut élargir la base de données afin d'améliorer la représentation des espèces dont la valeur d'Ellenberg pour la lumière est faible et les valeurs d'Ellenberg pour l'humidité et pour la salinité sont élevées.

17. Actuellement, des travaux visent à évaluer si la méthode de modélisation d'Ellenberg peut être étendue aux habitats méditerranéens et à d'autres habitats européens importants pour lesquels la plupart des espèces ne sont pas dotées de valeurs d'Ellenberg. Une première évaluation de deux communautés de prairies méditerranéennes fait apparaître que le chevauchement dans la composition des espèces de certaines communautés suffit à permettre un calcul de la sensibilité à l'ozone de l'ensemble de la communauté à partir de la réaction prévue à l'ozone des espèces dotées de valeurs d'Ellenberg. Dans ces prairies sèches des régions sous-méditerranéennes orientales et ces communautés de prairies méditerranéennes d'herbes hautes humides, respectivement 39 % et 50 % des espèces disposent de valeurs d'Ellenberg. Le CORI calculé montre que les prairies humides sont plus sensibles à l'ozone que les prairies sèches et que ces deux communautés se situent dans la fourchette de sensibilité à l'ozone calculée pour les prairies du Royaume-Uni (voir tableau 1).

### RÉFÉRENCES

Ellenberg H, Weber HE, Düll R, Wirth V, Werner W, Paulissen D (1991) Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18, 1-248.

Hayes F, Jones MLM, Mills G, Ashmore M (2007) Meta-Analysis of the relative sensitivity of semi-natural vegetation species to ozone. *Environmental Pollution* 146, 754-762.

Jones MLM, Hayes F, Mills G, Sparks TH, Fuhrer J (2007) Predicting community sensitivity to ozone, using Ellenberg Indicator values. *Environmental Pollution* 146, 744-753.

Mills G, Hayes F, Jones MLM, Cinderby S (2007) Identifying ozone-sensitive communities of (semi-)natural vegetation suitable for mapping exceedance of critical levels. *Environmental Pollution* 146, 736-743.

Rodwell JS (1992) *British Plant Communities. Volume 3. Grasslands and montane communities.* Cambridge University Press, Cambridge.

Volk M, Bungener P, Contat F, Montani M, Fuhrer J (2006) Grassland yield declined by a quarter in five years of free-air ozone fumigation. *Global Change Biology* 12, 74-83.

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

-----