



**Conseil économique
et social**

Distr.
GÉNÉRALE

ECE/EB.AIR/WG.1/2009/9
8 juillet 2009

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-huitième session
Genève, 23-25 septembre 2009
Point 5 de l'ordre du jour provisoire

**DERNIERS RÉSULTATS ET ÉTAT ACTUEL DES CONNAISSANCES
SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES**

**EFFETS DE L'OZONE ET DE L'AZOTE SUR LA VÉGÉTATION
ET ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS D'AZOTE
ET DE MÉTAUX LOURDS DANS LES MOUSSES**

Rapport du Centre de coordination du Programme international concerté relatif aux
effets de la pollution atmosphérique sur la végétation naturelle et les cultures

I. INTRODUCTION

1. Les derniers résultats concernant les effets de l'ozone (O₃) et de l'azote (N), et les résultats de la dernière enquête sur les mousses sont présentés ici conformément au point 3.5 du plan de travail 2009 pour l'application de la Convention (ECE/EB.AIR/96/Add.2) adopté par l'Organe exécutif à sa vingt-sixième session en décembre 2008.

2. En 2007, le Programme international concerté relatif aux effets de la pollution atmosphérique sur la végétation naturelle et les cultures (PIC-Végétation) a fait état d'éléments d'information attestant de dommages étendus causés par l'ozone à la végétation en Europe de 1990 à 2006 (ECE/EB.AIR/WG.1/2008/9; Hayes *et al.* 2007). Le présent rapport décrit une

nouvelle analyse de ces données et leur utilisation dans le cadre de la Convention, en particulier pour comparer les risques liés aux effets nocifs de l'ozone sur la végétation et les risques pour la santé, et examine les informations qui aideront à fixer des cibles idéales pour l'année 2050 (Harmens *et al.* 2009). Récemment, le Centre de coordination du PIC-Végétation a rassemblé les données trouvées dans des ouvrages et revues sur les effets de l'azote atmosphérique sur la végétation. On trouvera résumées ici les conclusions de cette étude, qui a été intégrée dans un examen plus complet des effets de l'azote atmosphérique sur l'environnement et la santé (ECE/EB.AIR/WG.1/2009/16). En 2008, le PIC-Végétation a achevé l'analyse des données de l'enquête européenne sur les mousses qui a été menée en 2005/06. Il décrit les tendances spatiales et temporelles de l'accumulation de métaux lourds dans les mousses en Europe de 1990 à 2005 (Harmens *et al.* 2008a) ainsi que les tendances spatiales de la concentration d'azote dans les mousses en 2005/06 (Harmens *et al.* 2008b).

II. ÉVALUATION DU RISQUE FONDÉE SUR LES FLUX POUR L'OZONE

3. À sa vingt-sixième session en décembre 2008, l'Organe exécutif de la Convention a pris note des éléments d'information fournis par le PIC-Végétation sur les dommages étendus causés par l'ozone à la végétation. Il a décidé que les connaissances scientifiques et les données les plus récentes devraient être utilisées, notamment que les effets de l'ozone sur la végétation devraient être incorporés dans la modélisation de l'évaluation intégrée, en particulier pour la révision du Protocole de Göteborg de 1999 relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique (Protocole de Göteborg). Il a recommandé aussi d'utiliser les méthodes fondées sur les flux.

A. Des politiques visant uniquement à réduire les effets sur la santé ne protégeront pas la végétation dans de vastes régions d'Europe

4. Le Centre météorologique de synthèse-Ouest (CMS-O) du Programme concerté de surveillance continue et d'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe (EMEP) a fourni au Centre de coordination du PIC-Végétation des cartes faisant apparaître les risques liés à l'ozone pour 2006. Ces cartes ont été établies à partir de mesures de flux génériques pour les cultures (AF_{st3gen} , un modèle des flux cumulés d'ozone dans les feuilles d'une culture générique, qui tient compte de l'influence de la température, de la lumière et de l'humidité sur l'ouverture des stomates) et des paramètres de mesure utilisés pour l'évaluation de l'impact de l'ozone sur la santé (SOMO35, somme des moyennes quotidiennes maximales sur huit heures supérieures à 35 ppb (parties par milliard)). Les mailles du quadrillage EMEP dans lesquelles des dommages causés par l'ozone à la végétation ont été décelés en 2006, ont été superposées sur ces deux types de cartes des risques. Il est apparu que des politiques visant uniquement à préserver la santé ne protégeraient pas la végétation des effets nocifs de l'ozone dans le tiers septentrional de l'Europe.

B. Éléments pour la fixation de cibles idéales à atteindre d'ici 2050

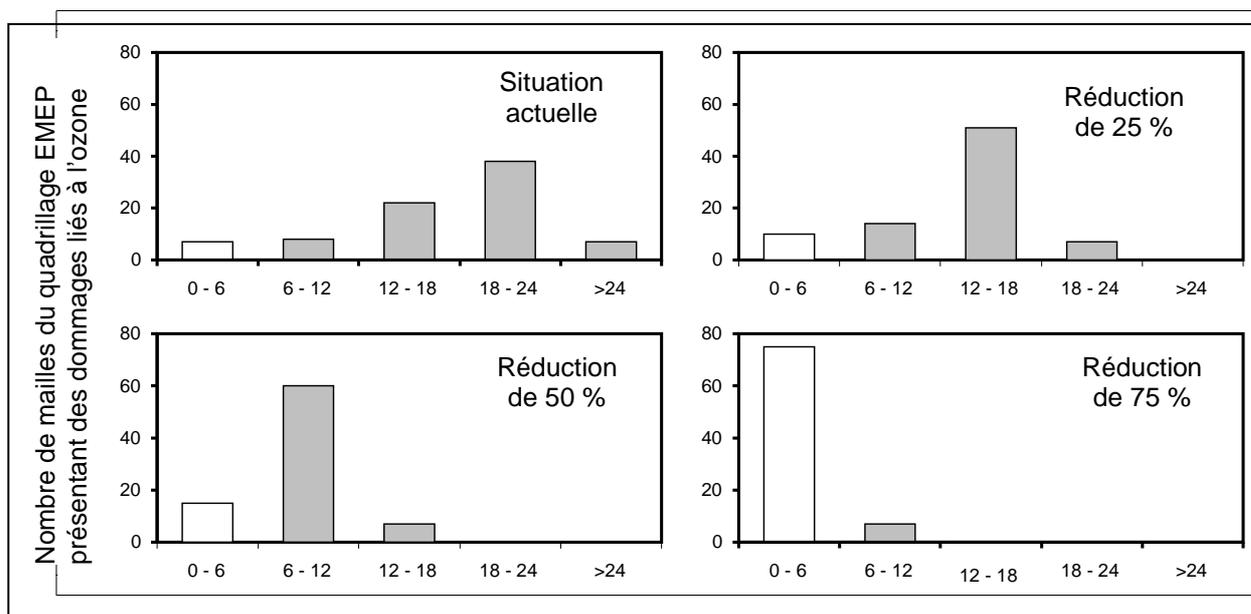
5. L'objectif général devrait consister à éviter tous les effets décelables de l'azote sur:

a) Le rendement et la qualité des cultures agricoles et horticoles (y compris les cultures fourragères);

- b) La croissance d'une espèce donnée et la biodiversité de la végétation (semi-)naturelle;
- c) L'aspect des feuilles et la croissance des arbres forestiers;
- d) Les services rendus par les écosystèmes (y compris le piégeage du carbone).

6. Dans les conditions climatiques actuelles, une réduction de 75 % des flux génériques d'ozone ($AF_{st3_{gen}}$) sur les cultures ferait passer plus de 90 % des mailles du quadrillage EMEP présentant actuellement des dommages (Hayes *et al.* 2007) dans la catégorie à «faible probabilité de dommages» (fig. 1). Par rapport à la méthode fondée sur les concentrations (AOT40, concentration cumulée supérieure au seuil de 40 parties par milliard (ppb)) qui ne permet pas de tenir compte des changements climatiques, la méthode fondée sur les flux a l'avantage de permettre l'application des modèles génériques au climat prévu en 2050 (voir le tableau). Le principe visant à combler les écarts entre les zones de dépassement, tel qu'il était appliqué auparavant aux charges et aux niveaux critiques, ou d'autres stratégies d'un bon rapport coût-efficacité qui donneraient la priorité aux zones à flux d'ozone élevés, pourraient aider à définir des cibles intermédiaires.

Figure 1. Nombre de mailles du quadrillage EMEP présentant des dommages causés par l'ozone aux cultures, avec les flux génériques d'ozone actuels (moyenne sur la période 1995-2004) et pour des réductions de 25, 50 et 75 % de ces flux



Note: Jusqu'à un flux générique de 6 mmol m⁻², il est peu probable que des dommages liés à l'ozone surviennent (barres blanches).

Tableau. Facteurs qui peuvent être pris en considération dans les modèles génériques des flux d'ozone concernant les changements climatiques prévus en 2050

Climat en 2050	Facteurs qui peuvent être pris en considération dans les modèles génériques de flux
Variations du profil de l'ozone	Oui
Augmentations de la température	Oui
Variations du déficit hygrométrique	Oui
Augmentation de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone	En introduisant un facteur pour simuler la réduction de la conductance stomatique due à l'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone
Variations de la disponibilité en eau du sol	En supposant une irrigation des cultures là où l'approvisionnement en eau est limité; il serait nécessaire d'utiliser le modèle des flux pour les arbres

III. EFFETS DE L'AZOTE SUR LA VÉGÉTATION ET CONCENTRATIONS DANS LES MOUSSES

7. Les conséquences de l'augmentation de l'azote (eutrophisation) pour les écosystèmes sont un sujet d'inquiétude dans de nombreuses régions relevant de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE) en raison du maintien à un niveau élevé des taux d'émission et de dépôt d'azote réactif. D'après les prévisions, le nombre des zones européennes menacées ne devrait diminuer que de façon marginale, passant de 49 % en 2000 à 47 % en 2020 sur la base des scénarios d'évolution des émissions avec la législation en vigueur (Hettelingh *et al.* 2008). On trouvera résumées ci-après les connaissances actuelles relatives aux effets de l'azote sur la végétation ainsi qu'un rapport sur les concentrations d'azote dans les mousses mesurées au cours de l'enquête européenne sur les mousses en 2005/06.

A. Effets de l'azote sur la végétation

8. Les lichens et les mousses renferment des espèces qui sont parmi les plus sensibles à l'augmentation des dépôts d'azote atmosphérique. C'est pourquoi on a fixé récemment les niveaux critiques de l'ammoniac pour les lichens et les mousses (et pour les écosystèmes dont l'intégrité dépend pour beaucoup de ces végétaux), à une concentration plus basse (1 ug m^{-3}) que ceux qui s'appliquent aux végétaux supérieurs (3 ug m^{-3} ; ECE/EB.AIR/WG.5/2007/3). Les communautés de lichens des forêts de conifères mixtes dans un climat de type méditerranéen en Amérique du Nord ont été endommagées par les dépôts azotés à partir de $3,1 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, ces dépôts affectant les réseaux alimentaires et la faune sauvage.

9. Les habitats sensibles à des charges critiques empiriques faibles sont notamment les hauts marais et les bas marais, les tourbières oligotrophes, la toundra, les landes humides contenant des mousses du genre *Racomitrium*, et les habitats arbustifs des zones arctique, alpine et subalpine (ECE/EB.AIR/WG.1/2003/14). Malgré les efforts de conservation, de nombreuses landes de

faible altitude en Europe occidentale ont été envahies par des plantes herbacées au cours des vingt à cinquante dernières années. Ce passage d'arbustes nains à une dominance des herbacées est déclenché par l'ouverture de la canopée due par exemple à des attaques de la chrysomèle des bruyères, au gel ou à la sécheresse, qui s'ajoutent aux effets de la concentration d'azote dans les végétaux. Il a été recommandé récemment que la charge critique empirique pour les forêts boréales qui est actuellement de 10 à 20 kgN ha⁻¹ a⁻¹ soit réduite à 5 à 10 kgN ha⁻¹ a⁻¹ (ECE/EB.AIR/WG.1/2007/15).

10. La disparition, ou la raréfaction, des espèces à coefficient de rétention élevé («filtres» à azote) telles que les mousses et les lichens augmente la quantité d'azote minéral disponible pour les végétaux supérieurs et les microbes du sol. Cette disponibilité accrue favorise les espèces à croissance rapide, plus nitrophiles, qui supplantent et éliminent les végétaux adaptés à une faible disponibilité de l'azote et entraîne finalement une diminution de la diversité végétale. De plus, des facteurs secondaires associés à l'apport azoté, comme l'acidification du sol et la sensibilité des végétaux aux herbivores, au gel, au vent et à la sécheresse, se trouvent ainsi renforcés. On a émis récemment l'hypothèse que le lessivage de l'azote était déclenché par la disparition d'espèces à forte capacité de rétention azotée et la suppression de l'immobilisation microbienne des nitrates déposés en raison de la disponibilité accrue d'ions ammonium au début de la saturation en azote. Le lessivage de l'azote peut entraîner une eutrophisation des eaux souterraines et des eaux de surface. L'évaluation en termes de biomasse et/ou de santé des mousses et des lichens peut fournir un indicateur utile des premiers stades de la saturation en azote et du début du lessivage de l'azote dans certains habitats.

11. Les espèces végétales qui sont caractéristiques des milieux peu azotés sont particulièrement sensibles à la pollution par l'azote atmosphérique. On observe souvent, dans des prairies peu fertiles à forte richesse spécifique, des conditions faiblement tamponnées ou neutres, qui les sensibilisent à l'acidification et aux effets négatifs des ions ammonium. Par exemple, au Royaume-Uni, des prairies acides ont connu une forte diminution de leur richesse spécifique lorsque les dépôts azotés ont dépassé 10 à 15 kgN ha⁻¹ a⁻¹. Dans les prairies, on constate que l'augmentation des dépôts d'azote a des effets nocifs sur les plantes herbacées dont elle réduit la floraison tandis que les graminées croissent en abondance. Selon les prévisions, la végétation (semi-)naturelle à charges critiques empiriques faibles, inférieures à 10 kgN ha⁻¹ a⁻¹, sont les plus menacées par l'augmentation des apports azotés; c'est le cas des prairies alpines et subalpines et des habitats arctiques, des zones arbustives alpines et subalpines du Système européen harmonisé d'informations sur la nature (EUNIS). Les zones d'altitude sont aussi les plus sujettes aux dépôts azotés humides dus aux gouttelettes des nuages et aux précipitations. De nombreuses espèces rares sont observées dans les habitats à régénération rapide comme les habitats côtiers. Dans les dunes de sable, les espèces rares sont extrêmement sensibles aux modifications du sol et de la végétation provoquées par le dépôt d'azote.

12. Les effets de l'eutrophisation sur la végétation peuvent se traduire par des changements dans la fréquence ou l'abondance des espèces, des changements dans la composition des espèces ou, à la longue, une diminution de la richesse spécifique, c'est-à-dire de la biodiversité végétale. Les changements ou la disparition des espèces peuvent être étroitement liés à la disponibilité de l'azote et se produire à un stade précoce du processus de saturation par l'azote (jusqu'à 15 kgN ha⁻¹ a⁻¹). Les enquêtes menées au cours des dernières décennies pourraient ne pas faire apparaître de changements significatifs de la végétation au fil du temps. C'est ce qu'indiquent les évaluations du niveau de référence faites alors que la végétation a déjà changé et s'est adaptée

aux apports azotés plus élevés. Les traitements passés ($> 10 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) pourraient avoir déjà entraîné une perte des espèces rares ou sensibles. En cas d'eutrophisation, la régénération s'opère très lentement et il pourrait déjà être plus tard que nous ne le pensons.

13. Les effets de l'azote sur la végétation de type méditerranéen ont été à peine étudiés. Sous les climats méditerranéens, les dépôts azotés secs (gaz et particules) prédominent. La première pluie d'automne lave et dissout les particules accumulées, provoquant un afflux d'azote qui n'apparaît pas dans le dépôt annuel. Des données recueillies en Californie (États-Unis) ont montré que la principale menace que font courir les dépôts azotés à la biodiversité végétale sous ces climats est une augmentation des graminées annuelles envahissantes dans les écosystèmes oligotrophes à faible biomasse, provoquant une perte des espèces à des charges azotées relativement faibles ($10 \text{ à } 15 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Cependant, en Californie également, on a constaté que des communautés de lichens de forêts de conifères mixtes commençaient d'être affectées pour des charges azotées de $3,1 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

B. Concentrations d'azote relevées dans les mousses au cours de l'enquête en 2005/06

14. Pour la première fois au cours de l'enquête européenne sur les mousses, les Parties ont communiqué des données sur les concentrations d'azote dans les mousses en 2005/06. Une étude pilote menée dans certains pays scandinaves avait montré l'existence d'une bonne relation linéaire entre la concentration azotée totale dans ces végétaux et les taux de dépôt d'azote atmosphérique (Harmens *et al.* 2005). L'enquête 2005/06 avait pour but d'identifier les principales zones polluées, d'établir des cartes européennes de la concentration d'azote dans les mousses et de déterminer si les mousses peuvent servir d'outil biologique de surveillance des dépôts d'azote atmosphérique en Europe. Les données reçues de 16 pays portent sur près de 3 000 sites (Harmens *et al.* 2008b).

15. Les valeurs les plus basses des concentrations azotées totales dans les mousses ont été observées au nord de la Finlande et au nord du Royaume-Uni tandis que les concentrations les plus élevées étaient mesurées en Europe centrale et orientale (fig. 2). La répartition spatiale de la concentration d'azote était semblable à celle du dépôt azoté total retenu pour le modèle de l'EMEP en 2004, si ce n'est que dans le modèle les dépôts d'azote avaient tendance à être relativement moindres en Europe orientale. Toutefois, la relation entre la concentration d'azote totale et le dépôt azoté total modélisé, obtenue en établissant la moyenne de toutes les valeurs du site d'échantillonnage dans une maille du quadrillage EMEP, était marquée par une dispersion considérable (fig. 3a). La relation asymptotique apparente montre qu'une saturation de l'azote total se produit à partir d'un taux de dépôt de $10 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ environ. Bien qu'on ait relevé une dispersion moindre lorsque la relation était déterminée pour des mailles où les échantillons portaient sur au moins cinq sites, on n'a guère constaté de changement de la relation asymptotique apparente. Par contre, une relation linéaire fortement positive a été observée lorsque les concentrations azotées totales étaient rapportées aux valeurs des dépôts azotés bruts sur chaque site, par exemple en Suisse (fig. 3b). Cela semble indiquer que la relation entre le dépôt azoté et la concentration d'azote dans les mousses était plus fiable lorsque les taux de dépôt étaient mesurés sur les sites d'échantillonnage.

Figure 2. Concentration médiane d'azote dans les mousses selon les pays en 2005/06

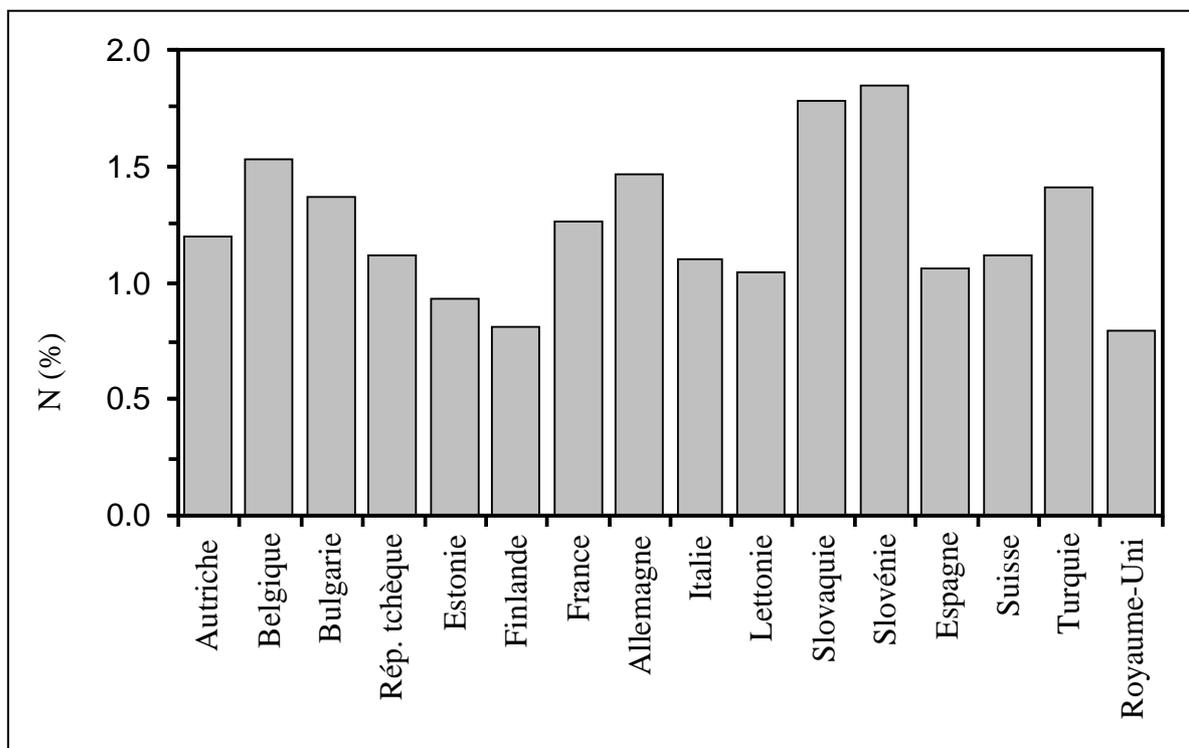
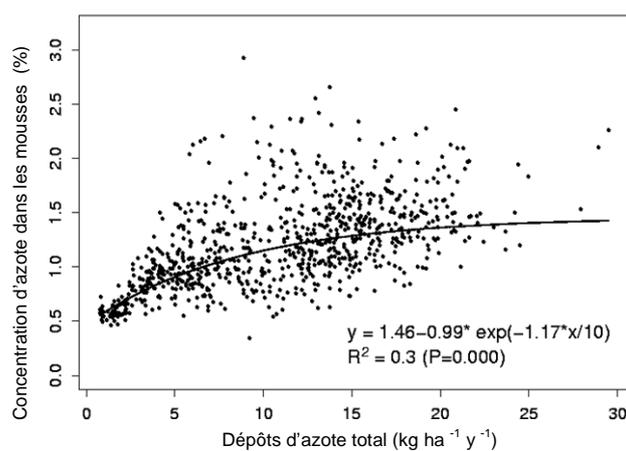
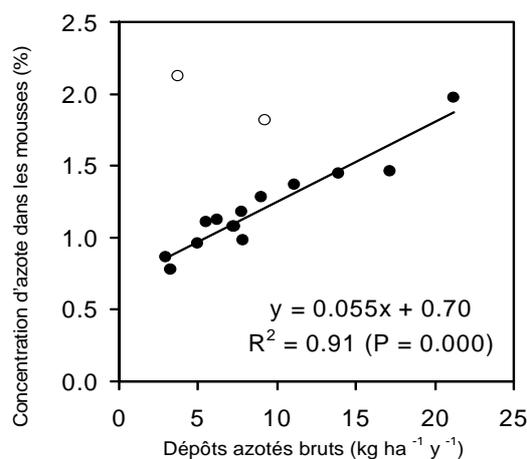


Figure 3. Dépôts d'azote total et dépôts bruts: relation a) entre les dépôts d'azote total selon le modèle de l'EMEP (2004) et la concentration d'azote moyenne dans les mousses (2005/06) par maille du quadrillage EMEP en Europe; et b) entre le taux de dépôt azoté brut et la concentration d'azote mesurés dans les mousses en Suisse

a)



b)



Note: Les symboles ouverts ont été exclus de la régression.

16. Lors de l'analyse à deux variables des données, les corrélations les plus élevées ont été observées entre les concentrations d'azote total dans les mousses et les dépôts de diverses formes d'azote atmosphérique tels que modélisés par l'EMEP: les valeurs de r étaient comprises entre 0,55 (dépôt sec d'azote réduit) et 0,64/0,65 (dépôt total, dépôt humide total, dépôt humide et dépôt sec d'oxydes d'azote). L'analyse à plusieurs variables a fait apparaître que les dépôts secs d'oxydes d'azote étaient le facteur statistiquement le plus significatif suivis des dépôts secs totaux et de la densité de l'élevage dans les pays participants.

17. La concentration d'azote total dans les mousses pourrait être utilisable comme valeur de remplacement pour estimer le dépôt azoté total et déterminer les zones à dépôts azotés élevés et forte densité spatiale. Toutefois, les facteurs susceptibles d'influer sur la relation entre les dépôts d'azote et la concentration dans les mousses doivent être étudiés plus avant si l'on veut pouvoir utiliser les mousses comme outil de surveillance biologique des dépôts d'azote atmosphérique à l'échelle européenne. Les Parties à la Convention ont été priées de communiquer des données sur les concentrations azotées dans les mousses pour la prochaine enquête européenne sur les mousses prévue en 2010.

IV. ÉVOLUTION SPATIALE ET TEMPORELLE DES MÉTAUX LOURDS ACCUMULÉS DANS LES MOUSSES EN EUROPE (1990-2005)

18. Au cours de l'enquête 2005/06, 28 pays ont présenté des données, provenant de quelque 6 000 sites, sur les concentrations de métaux lourds dans les mousses (Harmens *et al.* 2008a). Ces données concernaient l'aluminium, l'arsenic, l'antimoine, le cadmium (Cd), le chrome, le cuivre, le fer, le plomb (Pb), le mercure (Hg), le nickel, le vanadium et le zinc. Les concentrations les plus faibles ont été observées le plus souvent en Scandinavie, dans les États baltes et au nord du Royaume-Uni, bien que des concentrations supérieures aient été signalées près de sources locales. Des concentrations relativement faibles de fer, de mercure, de nickel et de vanadium ont aussi été observées en Europe centrale. Selon le métal, les concentrations les plus élevées ont souvent été relevées en Belgique et dans les pays d'Europe orientale, avec par endroits des valeurs moins élevées. De fortes concentrations de mercure ont été décelées en Belgique, en France, en Lettonie, en Slovaquie et en Slovénie. Des concentrations relativement élevées d'aluminium, d'arsenic, de chrome, de fer, de nickel et de vanadium ont été trouvées dans l'est et le sud de la France.

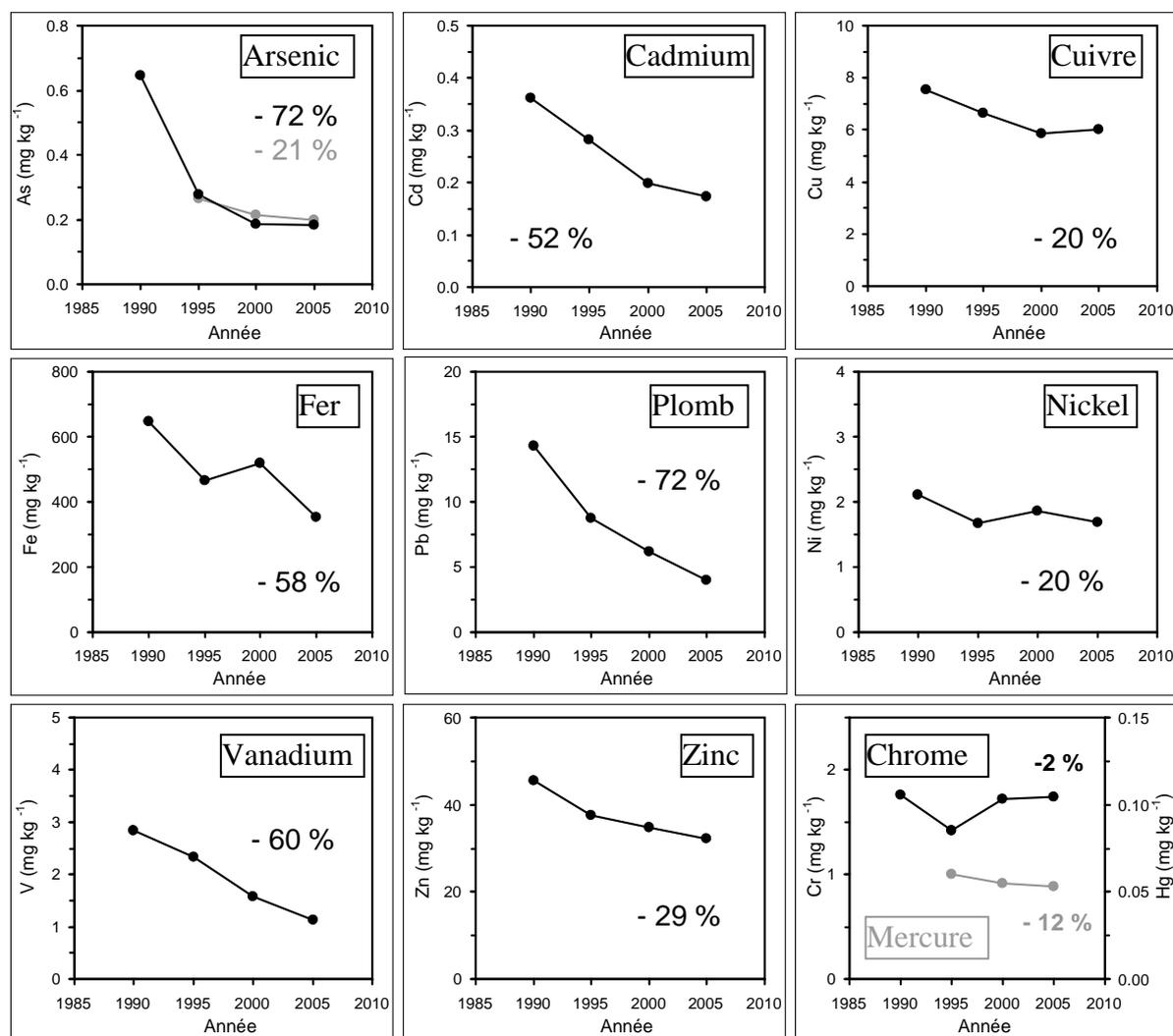
19. Lors de l'analyse à deux variables des données, les corrélations les plus fortes ont été obtenues pour la concentration de cadmium et de plomb dans les mousses et a) les dépôts du modèle de l'EMEP ($r = 0,63$ pour le cadmium et $r = 0,73$ pour le plomb); b) les émissions totales EMEP ($r = 0,49$ pour le cadmium et $r = 0,65$ pour le plomb); et c) le taux d'urbanisation dans un rayon de 100 km ($r = 0,42$ pour le cadmium et $r = 0,43$ pour le plomb). Des corrélations faibles ont été constatées entre la concentration de mercure dans les mousses et les dépôts selon le modèle de l'EMEP ($r = 0,20$) ou les émissions anthropiques ($r = 0,14$).

20. La réduction des émissions et par voie de conséquence des dépôts de métaux lourds en Europe a entraîné, pour la plupart des métaux, une diminution de la concentration dans les mousses depuis 1990 (fig. 4). Entre 1990 et 2005, les réductions les plus importantes ont été observées pour le plomb (72 %), l'arsenic (72 %, sur la base de données recueillies dans cinq pays), le vanadium (60 %), le cadmium (52 %) et le fer (45 %). Des réductions plus faibles ont été enregistrées pour le zinc (29 %), le cuivre (20 %) et le nickel (20 %) tandis que le chrome n'a

subi aucune réduction significative (2 %). Un petit nombre de pays avaient présenté des données pour l'arsenic et le mercure en 1990 mais, depuis 1995, la concentration d'arsenic dans les mousses a baissé de 21 % (sur la base des données fournies par 14 pays), tandis que le mercure n'a pas subi de baisse significative (12 %). À l'échelle nationale ou régionale, on a observé des écarts importants par rapport à la tendance générale en Europe, autrement dit les tendances temporelles étaient caractéristiques d'un pays ou d'une région, sans changements ni même augmentations depuis 1990. Ainsi, alors même que les dépôts de métaux enregistraient une diminution générale en Europe, les tendances temporelles accusaient des différences selon l'échelle géographique.

21. En collaboration avec le Centre météorologique de synthèse-Est (MS-E) de l'EMEP, on a comparé les concentrations de cadmium, de plomb et de mercure mesurées dans les mousses aux flux de dépôts atmosphériques de ces métaux simulés par le modèle de l'EMEP pour le transport atmosphérique. L'analyse préliminaire des données a permis de constater que, pour l'Europe dans son ensemble, la disposition spatiale des concentrations de cadmium et de plomb dans les mousses était analogue aux flux de dépôt indiqués par le modèle. En général, les régions où les dépôts étaient les plus élevés avaient aussi les concentrations les plus fortes et inversement. Dans le cas du mercure, la similitude de disposition spatiale était moins nette. Une première analyse des données a montré l'existence d'une concordance raisonnable entre les tendances temporelles des concentrations de métaux dans les mousses et les tendances des dépôts de métaux. Si l'on tient compte de la zone d'échantillonnage, la concentration de métaux dans les mousses avait baissé de 73, 46 et 20 % en Europe entre 1990 (1995 pour le mercure) et 2005, alors que les dépôts indiqués par le modèle avaient diminué de 70, 41 et 30 % pour le plomb, le cadmium et le mercure, respectivement. Les données feront l'objet d'une analyse plus poussée ultérieurement.

Figure 4. Tendances de la concentration médiane en métaux lourds dans les mousses, d'après les données fournies par les pays qui ont notifié des données pour toutes les années soumises à l'enquête et pour les différents métaux



Note: Sur chaque graphique, les valeurs négatives indiquent le pourcentage de diminution des concentrations dans les mousses entre 1990 (ou 1995) et 2005.

V. PRIORITÉS POUR L'AVENIR

22. Afin de définir une ligne d'action future, il faudra intégrer la méthode basée sur les flux d'ozone pour la végétation dans la modélisation de l'évaluation intégrée et fixer des objectifs fondés sur les effets. Dans ce but, il est urgent de mettre au point une méthode générique fondée sur les flux pour la végétation (semi-)naturelle. Les travaux qu'il convient de mener pour mieux connaître les effets nocifs de l'ozone sur la végétation sont exposés dans le document ECE/EB.AIR/WG.1/2008/9. Les autres tâches prioritaires porteront sur les impacts de l'ozone sur la sécurité alimentaire, le piégeage du carbone et les liens entre l'ozone et les changements climatiques.

23. Il est nécessaire de mettre au point des indicateurs de l'impact de l'azote sur la végétation et d'améliorer notre connaissance des effets de l'azote sur les habitats méditerranéens. La relation entre la concentration de l'azote dans les mousses et les dépôts atmosphériques mesurés ou établis par les modèles, y compris la détermination des facteurs qui modifient cette relation, doit être étudiée à diverses échelles géographiques. Il faudra établir une relation entre la concentration d'azote dans les mousses et les effets de l'azote sur la végétation et se demander s'il est possible de définir des niveaux critiques pour la concentration dans les mousses.

24. La relation entre les concentrations de métaux lourds dans les mousses et les dépôts atmosphériques tels que modélisés par l'EMEP, y compris la détermination des facteurs qui modifient cette relation, doit être étudiée plus avant à diverses échelles géographiques. Une comparaison détaillée des tendances temporelles permettra de recueillir de nouvelles données sur l'efficacité du modèle de transport atmosphérique de l'EMEP. Afin de renforcer l'utilisation des données sur les métaux lourds dans les mousses, une meilleure intégration avec d'autres ensembles de données européens doit être explorée.

VI. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES¹

Harmens H, Mills G, Hayes F et al. (2009) Air pollution and vegetation. ICP Vegetation annual report 2008/2009.

Harmens H, Mills G, Hayes F, Williams P, De Temmerman L (2005) and the participants of ICP Vegetation. Air pollution and vegetation. ICP Vegetation annual report 2004/2005.

Harmens H, Norris D and the participants of the moss survey (2008a) Spatial and temporal trends in heavy metal accumulation in mosses in Europe (1990–2005). ICP Vegetation Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, United Kingdom.

Harmens H, Norris D, Cooper D, Hall J and the participants of the moss survey (2008b) Spatial trends in nitrogen concentrations in mosses across Europe in 2005/2006. ICP Vegetation, Defra contract AQ0810. <http://icpvegetation.ceh.ac.uk>

Hayes F, Mills G, Harmens H, Norris D (2007) Evidence of widespread ozone damage to vegetation in Europe (1990–2006). ICP Vegetation Programme Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, United Kingdom.

Hettelingh J-P, Posch M, Slootweg J (editors) (2008) Critical load, dynamic modelling and impact assessment in Europe: CCE Status Report 2008. Coordination Centre for Effects, Netherlands Environmental Assessment Agency.

¹ Les références sont reproduites telles qu'elles ont été reçues par le secrétariat.