

Distr. GÉNÉRALE

ECE/EB.AIR/WG.1/2009/10 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

ÉVALUATION DES TENDANCES À LONG TERME DES DÉPÔTS ET DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE

Rapport du Centre du Programme international concerté de surveillance intégrée des effets de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes

I. INTRODUCTION

- 1. Les résultats des activités de surveillance intégrée sont exposés dans le présent rapport, conformément au plan de travail de 2009 pour l'application de la Convention (ECE/EB.AIR/96/Add.2, point 3.6 c)), approuvé par l'Organe exécutif à sa vingt-sixième session tenue en décembre 2008.
- 2. On prévoit que la mise en œuvre du Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique (Protocole de Göteborg, 1999) réduise les émissions européennes de soufre (S) d'au moins 63 %, d'oxydes d'azote (N) de 41 % et d'ammonium (NH₄) de 17 % à l'horizon 2010 par rapport aux niveaux de 1990. Il est essentiel que des données scientifiques soient disponibles pour évaluer le succès des mesures internationales de réduction des émissions et faire le point des avantages pour les écosystèmes des investissements massifs et coûteux qui ont été opérés.

3. Le présent rapport récapitule les principaux résultats d'une analyse tendancielle de données mensuelles sur les dépôts en masse (chimie des précipitations), les dépôts par égouttement et la chimie des eaux de ruissellement sur 33 sites du Programme international concerté de surveillance intégrée des effets de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes (PIC-Surveillance intégrée) pour la période 1993-2006. Il actualise une précédente évaluation tendancielle qui couvrait la période 1993-2003 (Kleemola et Forsius 2006). On trouvera des informations plus détaillées dans le rapport annuel du PIC-Surveillance intégrée pour 2009.

II. OUTILS ET MÉTHODES

- 4. Les concentrations et flux mensuels concernant la chimie des précipitations, les dépôts par égouttement et les eaux de ruissellement ou les eaux dans le sol (lorsque l'on ne disposait pas de données sur les eaux de ruissellement) ont été utilisés dans l'évaluation tendancielle pour chacun des sites. La chimie des précipitations, les dépôts par égouttement et les flux de lessivage (eaux de ruissellement) ont été calculés à partir de la qualité et du volume de l'eau sur la base des valeurs mensuelles moyennes pour les flux d'eau et les analyses chimiques.
- 5. Pour que les sites et les relevés soient acceptés aux fins des analyses statistiques, il fallait que les données: a) couvrent la période commençant au plus tard en 1999 et allant au moins jusqu'en 2005; et b) soient disponibles pour au moins sept des quatorze années correspondant à la période 1993-2006. Les tendances ont été évaluées pour le sulfate (SO_4*), le calcium + le magnésium (Ca*+Mg*) (l'astérisque dénote la fraction non marine), les protons (H^+), le nitrate (NO_3) et la capacité de neutralisation de l'acide (CNA). Le NH_4 était également pris en compte, mais les résultats ne sont pas présentés en raison du petit nombre de sites où des données étaient disponibles. La CNA correspondait à la somme des cations basiques moins la somme des ions acides, à savoir $\Sigma(Ca+Mg+Na+K+NH_4) \Sigma(SO_4+NO_3+Cl)$ (unité: $\mu eq/l$).
- 6. Trente-trois sites disposaient d'un nombre suffisant de données pour qu'il soit possible de réaliser l'analyse tendancielle, du moins pour la chimie des précipitations. Vingt-neuf sites disposaient d'un nombre suffisant de données pour les dépôts par égouttement. Dans trois sites, deux placettes distinctes comprenant des espèces dominantes différentes ont été incluses dans l'analyse, ce qui a permis d'obtenir un nombre total de 32 placettes pour les dépôts par égouttement. Sur 22 sites, les espèces dominantes étaient soit *Picea abies* soit *Pinus sylvestris* pour l'ensemble du site ou du moins pour une placette permettant de mesurer les dépôts par égouttement. Sur 27 sites, on disposait de données, soit pour les eaux de ruissellement, soit pour les eaux dans le sol. Les flux annuels ont été calculés en tant que moyenne des cinq dernières années pour lesquelles des données étaient disponibles, en général pour la période 2002-2006, afin de réduire la variabilité annuelle.
- 7. Les tendances des paramètres et des flux chimiques ont été analysées à l'aide du test saisonnier non paramétrique de Kendall (Hirsch *et al.*, 1982) appliqué à des données mensuelles pour chaque site. Le test de Kendall est désormais une méthode de référence pour déceler les tendances des données relatives à la qualité de l'eau dans un site déterminé. Il peut tenir compte d'éléments tels que la non-normalité, l'absence de données et les caractéristiques saisonnières, qui sont courants dans ce type de données. Il n'en est pas moins un solide test de tendance au sens statistique (Loftis et Taylor 1989). L'ampleur de la tendance a été évaluée selon la méthode de Theil-Sen. Cette méthode permet de calculer la médiane de toutes les différences interannuelles de la variable considérée. L'unité d'estimation des pentes pour les données

mensuelles est μ eq l^{-1} a^{-1} pour les concentrations et meq m^{-2} a^{-1} pour les flux. Une valeur seuil statistiquement significative de p <0,05 a été appliquée à l'analyse des tendances. On peut estimer, avec un niveau de confiance de 95 % au moins, que les tendances décroissantes ou croissantes mises en évidence étaient sensiblement différentes d'une tendance nulle.

III. PRINCIPAUX RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

- 8. Des tendances à la baisse des concentrations de SO₄ statistiquement significatives ont été observées dans la chimie des précipitations et dans les dépôts par égouttement sur la plupart des sites. Sur les 34 sites où l'on disposait de données suffisantes pour analyser les tendances de la chimie des précipitations, tous les sites affichaient des tendances à la baisse et 28 sites faisaient apparaître une diminution statistiquement significative (fig. 1). Sur 32 placettes, représentant en l'occurrence 29 sites, le nombre correspondant pour les concentrations de dépôts par égouttement était de 28 placettes, soit 25 sites différents. Les résultats montraient clairement une diminution des émissions. Les tendances pour les flux calculés de SO₄ étaient analogues, mais le nombre de résultats statistiquement significatifs était moins important que pour les évaluations concernant les concentrations. Les diminutions annuelles de concentration de SO₄ aussi bien dans la chimie des précipitations que dans les dépôts par égouttement pour la période 1993-2003 (Kleemola et Forsius 2006) étaient plus sensibles que pour la période 1993-2006. Cette tendance était probablement à mettre en corrélation avec les émissions de soufre, car les réductions des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) en Europe avaient ralenti au cours de la dernière décennie (www.emep.int).
- 9. Par rapport au SO₄, le NO₃ faisait apparaître un bien moins grand nombre de tendances statistiquement significatives aussi bien dans la chimie des précipitations que dans les dépôts par égouttement (fig. 1). Globalement, la situation était différente, qu'il s'agisse des tendances décroissantes ou croissantes mises en évidence. S'agissant de la chimie des précipitations, le nombre de sites affichant une diminution statistiquement significative des concentrations de NO₃ était de 6 sur 34 alors que pour les dépôts par égouttement il était de 3. Des hausses sensibles de concentration de NO₃ dans la chimie des précipitations n'ont pas été relevées. En ce qui concernait les flux de NO₃ estimés dans la chimie des précipitations, on a observé deux importantes tendances à la baisse et une tendance à la hausse.
- 10. L'acidité des dépôts faisait apparaître des tendances décroissantes à l'échelle régionale. Le nombre de sites présentant une diminution des concentrations de H⁺ dans la chimie des précipitations était de 19 contre 14 pour les flux de H⁺. Sur un site, on a observé une augmentation sensible des concentrations dans la chimie des précipitations et dans les flux de dépôts. S'agissant des concentrations de H⁺ dans les dépôts par égouttement, les nombres respectifs étaient de 17 placettes représentant 16 sites, et de 16 placettes représentant 15 sites, pour les flux de H⁺. Aucun site n'a fait apparaître une augmentation des concentrations et des flux de H⁺ dans les dépôts par égouttement. Ces derniers rendaient mieux compte de la charge totale pour l'écosystème, car ils contribuaient aux changements intervenant dans la fraction composée de dépôts secs également. Les tendances croissantes observées dans les concentrations de H⁺ s'expliquaient en partie par une diminution des dépôts de cations basiques neutralisants, ce qui avait eu une incidence sur la charge acide malgré la diminution de SO₄ à l'échelle de la région.

- 11. Par rapport aux dépôts, les résultats concernant les eaux de ruissellement ou les eaux dans le sol étaient plus contrastés. Cela était dû aux interactions complexes des processus au niveau du sol et des captages qui influaient sur les concentrations et les flux des différents ions. Sur les 27 sites pour lesquels on disposait de données sur les concentrations statistiquement significatives, des tendances à la baisse des concentrations de SO₄ ont été observées sur 18 sites et une tendance à la hausse sur un site (fig. 2). En raison de l'absence de données sur les flux des eaux de ruissellement ou des eaux dans le sol, des estimations de flux n'ont pu être réalisées que sur 19 sites. Sept sites mettaient en évidence une diminution importante du flux de SO₄ et un site une augmentation de ce flux. De précédents bilans entrées-sorties concernant les sites forestiers européens, y compris les sites relevant du PIC-Surveillance intégrée, faisaient souvent apparaître des dégagements nets de SO₄. Cela indiquait que le sol des forêts dégageait désormais du soufre qui s'était accumulé dans le passé (de Vries *et al.* 2001 et 2003, Prechtel *et al.* 2001, Forsius *et al.* 2005). D'une manière générale, les sites réagissaient ainsi à la diminution des dépôts de soufre.
- 12. Les concentrations de NO₃ dans les eaux de ruissellement ou les eaux dans le sol faisaient apparaître des résultats contrastés avec des tendances à la fois décroissantes et croissantes (fig. 2). Statistiquement, des tendances décroissantes significatives ont été observées sur six sites et une tendance croissante sur un site. Les nombres respectifs de flux de NO₃ s'établissaient à quatre pour les tendances décroissantes et à cinq pour les tendances croissantes. En général, peu de tendances temporelles significatives ont été observées en ce qui concernait les concentrations annuelles de NO₃ dans les eaux de ruissellement dans les régions reculées de l'Europe (Forsius *et al.* 2001, Wright *et al.* 2001).
- 13. Sur les sites sensibles à l'action des acides de l'Europe septentrionale, la CNA faisait apparaître des tendances à la hausse, indiquant une régénération des écosystèmes dégradés par l'acidification. Les tendances observées dans les concentrations étaient plus significatives pour la CNA (tendances à la hausse dans 13 sites sur 27) que pour les H⁺, qui étaient associés au pH (tendances à la baisse dans 6 sites sur 26). La CNA était en général un indicateur plus stable, moins tributaire des processus à court terme. Nombre des sites considérés n'étaient pas sensibles aux dépôts acidifiants (par exemple, Forsius *et al.* 2005); on ne pouvait donc s'attendre à de grands changements dans les variables concernant l'acidité. Pour les sites sensibles à l'action des acides, les tendances à la hausse affichées par la CNA indiquaient une régénération des écosystèmes dégradés par l'acidification et donc une réaction positive à la diminution des émissions.
- 14. Les nouveaux résultats du PIC-Surveillance intégrée ont confirmé les tendances à la baisse, précédemment observées à l'échelle régionale, de la présence de soufre dans les dépôts et les eaux de ruissellement ou les eaux dans le sol. Dans les sites sensibles à l'action des acides de l'Europe septentrionale on constatait une régénération régulière des écosystèmes dégradés par l'acidification. La situation concernant l'azote était très différente, faisant apparaître quelques tendances à la baisse dans les dépôts et des tendances à la baisse et à la hausse en ce qui concernait les eaux de ruissellement ou les eaux dans le sol. Le calcul des charges critiques pour l'Europe indiquait également un dépassement des charges critiques d'azote dans de vastes régions. Il convenait donc de suivre de très près l'azote en tant que polluant atmosphérique dans la région.

IV. BIBLIOGRAPHIE¹

de Vries W, Reinds GJ, van der Salm C, Draaijers GPJ, Bleeker A, Erisman JW, Auee J, Gundersen P, Kristensen HL, van Doben H, de Zwart D, Derome J, Voogd JCH, Vel E (2001) Intensive Monitoring of forest ecosystems in Europe; Rapport technique 2001. Institut de coordination de la surveillance intensive des forêts, Heerenveen (Pays-Bas).

de Vries W, van der Salm C, Reinds GJ, Dise NB, Gundersen P, Erisman JW, Posch M (2003) Assessment of the dynamics in nitrogen and carbon sequestration of European forest soils. Alterra-Report 818, Wageningen (Pays-Bas).

Forsius M, Kleemola S, Vuorenmaa J, Syri S (2001) Fluxes and trends of nitrogen and sulphur compounds at Integrated Monitoring sites in Europe. *Water, Air, and Soil Pollution* 130, p. 1641-1648.

Forsius M, Kleemola S, Starr M (2005) Proton budgets for a network of European forested catchments: Impacts of nitrogen and sulphur deposition. *Ecological Indicators* 5, p. 73-83.

Hircsh RM, Slack JR, Smith RA (1982) Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18, p. 107-121.

Kleemola S, Forsius M (2006) Trend assessment of bulk deposition, throughfall and runoff water chemistry at ICP IM sites. In: Kleemola S, Forsius M (dir. publ.). Quatorzième rapport annuel, 2005. PIC-Surveillance intégrée. The Finnish Environment 788, p. 32-37.

Loftis JC, Taylor CH (1989) Detecting acid precipitation impacts on lake water quality. *Environmental Management* 13, p. 529-539.

Prechtel A, Alewell C, Armbruster M, Bittersohhl J, Cullen JM, Evans CD, Helliwell RC, Kopacek J, Marchetto A, Matzner E, Messenburg H, Moldan F, Moritz F, Vesely J, Wright RF (2001) Response of sulphur dynamics in European catchments to decreasing sulphate deposition. *Hydrology and Earth System Sciences* 5, p. 311-326.

Wright RF, Alewell C, Cullen JM, Evans CD, Marchetto A, Moldan F, Prechetel A, Rogara M (2001) Trends in nitrogen deposition and leaching in acid-sensitive streams in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences* 5, p. 299-310.

Wright RF, Posch M, Cosby BJ, Forsius M, Skjelkvåle BL (2007) Review of the Gothenburg protocol: chemical and biological responses in surface waters and soils. Rapport établi par les centres du PIC-Surveillance intégrée et du PIC-Eaux. Rapport 89/2007. Oslo, Institut norvégien pour la recherche sur l'eau. 41 p.

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

Figure 1. Tendances statistiquement significatives (p<0,05) pour les concentrations de SO_4 et de NO_3 dans la chimie des précipitations: pentes croissantes et décroissantes (les triangles indiquent le sens)

Chimie des précipitations - SO₄



Chimie des précipitations - NO₃



Figure 2. Tendances statistiquement significatives (p<0,05) pour les concentrations de SO_4 et de NO_3 dans la chimie des eaux de ruissellement/eaux dans le sol: pentes croissantes et décroissantes (les triangles indiquent le sens)

Eaux de ruissellement + eaux dans le sol - SO₄



Eaux de ruissellement + eaux dans le sol - NO_3


