



**Conseil économique  
et social**

Distr.  
GÉNÉRALE

EB.AIR/WG.1/2003/6  
17 juin 2003

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-deuxième session, Genève, 3-5 septembre 2003)  
Point 4 b) de l'ordre du jour provisoire

LE RAPPORT SUR 15 ANS: ACIDIFICATION DES EAUX DE SURFACE  
EN EUROPE ET EN AMÉRIQUE DU NORD

Rapport succinct du Centre du Programme international concerté d'évaluation  
et de surveillance de l'acidification des cours d'eau et des lacs

I. INTRODUCTION

1. Le rapport sur 15 ans, établi dans le cadre du Programme international concerté d'évaluation et de surveillance de l'acidification des cours d'eau et des lacs (PIC-Eaux), fait état du programme d'activités mis en œuvre au cours de la période triennale 1999-2001, auquel 23 pays ont participé au titre d'une ou plusieurs activités. Le présent document passe en revue et récapitule le travail accompli et les principaux résultats obtenus en ce qui concerne: i) les tendances de la chimie des eaux de surface de 1990 à 2001; ii) la régénération biologique suite à une diminution de l'acidification; iii) la modélisation dynamique des eaux de surface; iv) les métaux lourds dans les eaux de surface; et v) les travaux futurs.

Les documents établis sous les auspices ou à la demande de l'Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance aux fins d'une distribution GÉNÉRALE doivent être considérés comme provisoires tant qu'ils n'ont pas été APPROUVÉS par l'Organe exécutif.

## II. TENDANCES DE LA CHIMIE DES EAUX DE SURFACE DE 1990 À 2001

2. L'un des objectifs essentiels des travaux du PIC-Eaux consiste à évaluer les changements qui interviennent dans la chimie des eaux de surface en fonction de la réduction des dépôts résultant des émissions. Le signe le plus évident que le programme de lutte contre les émissions aboutit à l'effet recherché serait une tendance constante à la régénération (baisse des concentrations de sulfates et augmentation du pH et de la salinité) observée sur un grand nombre de sites. C'est pourquoi le PIC-Eaux fait état de tendances pour des groupements de sites du PIC. Les régions géographiques prises comme base dans ce rapport ont été constituées en fonction d'un certain nombre d'objectifs. Surtout, on s'est efforcé de regrouper des sites qui présentent la même sensibilité à l'acidification (c'est-à-dire qui sont similaires, par exemple, sur le plan de la géologie, des caractéristiques des sols, et des taux de dépôt). Dans certains cas, pour obtenir des échantillons de taille suffisante (c'est-à-dire comprenant un nombre adéquat d'unités), les sites ont été regroupés en régions plus hétérogènes qu'elles ne devraient l'être idéalement. La liste des régions est donc fondée sur des décisions à la fois scientifiques et pragmatiques qui découlent de la disponibilité des données.

3. La conclusion la plus significative de l'analyse des tendances régionales, comme lors d'autres études portant sur des données antérieures (Stoddard et al. 1999, Skjelkvåle et al. 2001), est la diminution presque générale des concentrations de sulfates dans les lacs et les cours d'eau observée dans l'ensemble de l'Europe et de l'Amérique du Nord. Dans le cadre de cette analyse, une seule région n'a pas enregistré une diminution sensible des concentrations de sulfates, et il s'agit d'une région (les Blue Ridge de Virginie) où il est improbable qu'une telle diminution se produise à cause des caractéristiques du sol.

4. Moins de la moitié des régions du PIC-Eaux ont présenté une tendance régionale significative pour les nitrates et seule la région des Alpes a accusé une augmentation notable. Des baisses régionales des concentrations de nitrates ont été relevées ailleurs depuis 1990 environ (Stoddard et al. 1999, Skjelkvåle et al. 2001), et doivent être interprétées avec prudence. La période considérée dans le rapport du programme en cours, tout comme dans les rapports précédents, est de l'ordre d'une décennie. Les réactions à long terme des bassins hydrographiques aux dépôts d'azote peuvent prendre des siècles plutôt que des décennies. Dans les années 90 (en réalité, de 1990 à 2001), la surveillance des sites du PIC-Eaux a révélé une baisse des concentrations de nitrates dans les Adirondacks, les Appalaches et les Blue Ridge de Virginie (tous situés en Amérique du Nord), et une augmentation des concentrations de nitrates dans les Alpes. Dans toutes les autres régions, les différents sites ont enregistré soit une baisse, soit une augmentation des valeurs des nitrates, sans que l'on puisse dégager une tendance régionale bien définie.

5. L'une des réactions attendues des bassins hydrographiques à la diminution des concentrations de sulfates est une baisse des concentrations des cations basiques (CaMg). Toutes les régions considérées aux fins de l'évaluation accusent une certaine tendance à la diminution des concentrations de CaMg. L'un des résultats fondamentaux des évaluations régionales antérieures (Stoddard et al. 1999, Skjelkvåle et al. 2001) est la baisse plus importante que prévue des concentrations de CaMg dans certaines régions, en particulier en Amérique du Nord. Si le rythme de la baisse enregistrée pour les cations basiques de CaMg équivaut ou presque à celui observé pour les sulfates et les nitrates, la régénération (augmentation de l'alcalinité et du pH) ne peut pas s'effectuer. Dans les régions européennes, la baisse des concentrations de CaMg est

modérée (souvent négligeable) et toujours plus faible que celle des concentrations de sulfates. La diminution des concentrations de CaMg en Amérique du Nord est généralement plus importante qu'en Europe et dans certains cas elle est du même ordre que la baisse enregistrée pour les valeurs des sulfates.

6. Une baisse des concentrations de sulfates et une légère augmentation ou diminution des concentrations de nitrates associées à des déclinés plus modérés des concentrations de cations basiques permettent d'escompter une reconstitution de l'alcalinité (mesurée) ou de la capacité de neutralisation de l'acide (CNA) (calculée) et du pH. En Europe, deux régions affichent une amélioration sensible de l'alcalinité et de la CNA (partie méridionale de la région nordique, partie orientale de l'Europe centrale). Une région (partie occidentale de l'Europe centrale) n'enregistre aucune augmentation régionale de l'alcalinité malgré des baisses importantes des concentrations de sulfates, mais curieusement, la CNA semble indiquer une régénération marquée dans cette région. Deux régions (le Royaume-Uni plus l'Irlande et la partie septentrionale de la région nordique) accusent une tendance à la hausse pour les deux variables considérées, même si elle n'est pas très nette. Dans le cas des Alpes, les données ne font apparaître aucune régénération significative. En Amérique du Nord, quatre régions enregistrent une amélioration sensible de l'alcalinité (Vermont/Québec, Adirondacks, Appalaches et partie supérieure du Midwest), une région ne relève aucun changement (Blue Ridge de Virginie), tandis que la région du Maine/Canada atlantique est la seule région du PIC-Eaux où l'on note une aggravation sensible de l'acidification dans le cadre de l'analyse actuelle. La régénération intervenue dans les montagnes des Adirondacks et des Appalaches, ainsi que dans la partie supérieure du Midwest, représente un résultat important parce qu'aucune de ces régions n'avait accusé d'amélioration marquée lors des précédentes analyses régionales (voir, par exemple, Stoddard *et al.* 1999, Skjelkvåle *et al.* 2001). La région du Maine et du Canada atlantique est la seule région du PIC-Eaux où il s'est produit un phénomène d'acidification important durant les années 90 et au début des années 2000, et ce, malgré des diminutions significatives (mais faibles) de la quantité de sulfates dans les eaux de surface. Sur de nombreux sites du Programme situés dans cette région, les baisses enregistrées pour les cations basiques sont plus substantielles que celles des concentrations de sulfates.

7. Deux régions seulement accusent une augmentation sensible du pH (la partie méridionale de la région nordique et les Adirondacks) et elles comptent toutes deux parmi les trois régions où l'alcalinité s'est le plus améliorée. Certes, on aurait pu s'attendre à des améliorations plus sensibles du pH, mais il ne faut pas perdre de vue que le pH est l'une des variables les plus difficiles à mesurer avec précision en laboratoire. La variabilité des mesures rend plus délicate la détection des tendances qui commencent à se dégager, mais bon nombre de régions enregistrent des évolutions qui sont presque statistiquement significatives.

8. Le carbone organique dissous (COD) présente un grand intérêt pour n'importe quelle analyse de la régénération des eaux de surface, parce qu'il constitue un indicateur de l'acidité organique (naturelle). Le précédent rapport sur les tendances révélées par les données du PIC-Eaux (Skjelvåle *et al.* 2000) a été l'un des premiers à constater l'augmentation généralisée des valeurs de COD actuellement observée dans l'ensemble de l'Europe et de l'Amérique du Nord. Toutes les régions considérées dans le rapport actuel, à l'exception d'une seule, présentent des pentes positives pour le COD, et presque toutes les augmentations régionales sont significatives. L'augmentation des valeurs pour le COD relevée sur les sites du PIC-Eaux indique que les concentrations d'acides organiques sont presque certainement en train

d'augmenter, tandis que celles d'acides inorganiques vont s'amenuisant. La hausse des valeurs du COD pourrait contrebalancer, dans une proportion allant à peu près de 50 à 25 %, la baisse des concentrations de sulfates observée dans la région du PIC-Eaux.

### III. RÉGÉNÉRATION BIOLOGIQUE SUITE À UNE DIMINUTION DE L'ACIDIFICATION

9. Au cours des dernières décennies, une réduction sensible des émissions de soufre est intervenue, aussi bien en Europe septentrionale qu'en Amérique du Nord. Une régression à large échelle de l'acidification a été attestée pour les eaux de surface. Jusqu'ici, les données témoignant d'une réponse biologique à la régression de l'acidification des eaux de surface sont plus sporadiques. Le PIC-Eaux a analysé la raison de cette absence apparente de régénération biologique. Il s'est concentré sur les facteurs les plus importants qui déterminent la régénération biologique dans les différentes régions et sur ce à quoi l'on aurait pu s'attendre compte tenu de l'amélioration de l'état chimique observée. Au nombre des questions importantes à prendre en compte, on peut mentionner les aspects suivants:

a) Les améliorations de la chimie de l'eau n'ont pas encore atteint le niveau nécessaire pour que les espèces sensibles à l'acidification puissent se régénérer (la régénération biologique ne peut pas s'enclencher tant que l'eau n'a pas la qualité voulue);

b) Les épisodes d'acidification de l'eau résultant de la fonte des neiges, du dépôt de sel marin, etc., empêcheront une régénération durable et se traduiront par des recolonisations multiples (alternance de recolonisations et régressions d'espèces sensibles);

c) Le processus est freiné à cause de la dispersion des espèces sensibles (facteurs liés à l'arrivée);

d) Des blocages interviennent en raison de l'interaction/la concurrence avec d'autres espèces (facteurs liés à la survie des espèces sensibles);

e) Les mécanismes de dispersion sont influencés par les caractéristiques des cours d'eau/lacs (par exemple, la taille, la morphologie, la distance qui les sépare des refuges, etc.);

f) La dispersion et la recolonisation sont tributaires du cycle de vie et du comportement (œufs dormants, insectes volants, taille, etc.);

g) Qu'entend-on par régénération biologique? S'agit-il de l'inversion du processus d'acidification pour revenir à l'assemblage des espèces qui existait avant l'acidification, ou du développement d'une communauté reflétant les conditions chimiques et physiques actuelles? Les cycles de régénération subiront les répercussions du réchauffement global, des épisodes de dépôt de sel marin, des sécheresses, des changements d'ordre hydrologique, etc., et ces éléments doivent être analysés pour comprendre le phénomène de régénération.

10. Les données sur la chimie de l'eau consistent en mesures des concentrations chimiques, c'est-à-dire des nombres exacts, les seuils de détection déterminant le niveau de signification des analyses. Les données biologiques sont moins précises et n'offrent pas les mêmes possibilités de déceler l'origine des changements de faible ampleur.

11. Les résultats émanant du PIC-Eaux ont montré que de nombreuses régions avaient manifesté des signes précoces de régénération de la chimie des eaux de surface durant les années 80 et que le rythme de régénération s'était accéléré au cours des années 90. L'importance de la régénération de la chimie des eaux consécutive à la régression de l'acidification a évolué dans le temps, d'une région à l'autre, et d'un site à l'autre à l'intérieur d'une région donnée. Les déterminants essentiels à cet égard sont l'ampleur de la modification des dépôts, les caractéristiques des bassins hydrographiques, la gestion des sols, et le rôle des variables dites de confusion. De manière générale, il est manifeste qu'une réduction des dépôts de soufre a suscité, ou suscitera au bout du compte, des améliorations sensibles de l'état chimique des eaux de surface acidifiées dans l'ensemble de l'Europe.

12. Les lacs et les cours d'eau situés en Scandinavie et dans les régions de haute montagne au sol peu épais affichent une acidification rapide de même qu'une régénération chimique hâtive. Les lacs et les cours d'eau qui font l'objet d'une surveillance en Norvège sont caractéristiques à cet égard, de sorte qu'une amélioration de l'état chimique des eaux devrait s'y produire rapidement et le processus de régénération biologique s'y enclencher sans tarder. C'est effectivement ce que l'on constate dans ces zones (Raddum *et al.* 2001).

13. Dans les régions où les sols sont profonds et anciens, l'acidification des eaux de surface est plus lente en raison des niveaux élevés de rétention du soufre et d'échange cationique. Les lacs et cours d'eau acidifiés dans ces régions se régénèrent plus lentement (Europe centrale, certaines parties du Royaume-Uni, certaines parties de la Suède). On associe principalement à ces régions une régénération biologique dispersée et souvent médiocre. La réaction biologique est fonction des limites critiques de l'espèce et des changements dans la qualité de l'eau qui sont faibles, dans la plupart des cas. La régénération des espèces sensibles progresse par paliers et non pas régulièrement comme c'est le cas de la chimie des eaux. Les changements observés dans la chimie des eaux doivent donc être appréciables avant que l'on puisse constater une régénération biologique mesurable. Par conséquent, on peut s'attendre à une régénération biologique limitée dans cette catégorie de régions.

14. La réapparition d'espèces sensibles éteintes dans un endroit qui a subi un processus de régénération chimique variera selon le type d'organisme considéré. Le zooplancton peut se développer à partir d'œufs dormants logés dans les sédiments. Un insecte ailé peut aisément être transporté par la voie des airs, mais la distance par rapport à l'emplacement source, la capacité de vol, la longévité et le comportement de dispersion joueront un rôle important. Dans les eaux courantes, la dérive vers l'aval constitue un mécanisme de dispersion supplémentaire important à partir d'un emplacement source.

15. La régénération de l'environnement biotique dans les lacs prend plus de temps et est moins prévisible que dans les cours d'eau [Yan *et al.*, 2003 (en cours de préparation)]. Sous l'effet de la concurrence et de la prédation, en particulier celles qui s'exercent sur le zooplancton des lacs, consommé par les poissons et les prédateurs invertébrés, il s'avère difficile d'évaluer la régénération. Dans les eaux courantes, la prédation dont font l'objet les invertébrés de la part des poissons est relativement faible et peut rarement être mesurée. L'arrivée et la dispersion ont été étudiées dans la rivière Audna dans le sud de la Norvège, où la qualité de l'eau est devenue acceptable pour la plupart des espèces sensibles à l'acidification immédiatement après le chaulage (Raddum et Fjellheim, 2003). La réapparition ou l'arrivée d'espèces sensibles a pris

de 2 à 10 ans. Après leur arrivée, les différentes espèces sensibles se sont dispersées dans l'ensemble de la zone chaulée en l'espace de cinq ans.

16. Le chaulage donne une idée de la régénération des invertébrés à laquelle on peut s'attendre après la reconstitution complète de la chimie des eaux. Les différences d'ordre chimique entre les parties chaulées et les parties non chaulées de la rivière Audna illustrent l'état du processus de régénération chimique dans les parties non chaulées du cours d'eau. Les populations d'espèces sensibles dans ces parties représentent à peu près un tiers de celles des parties chaulées après 15 années de chaulage. Cet exemple apporte une nouvelle preuve que le rétablissement de l'équilibre de la chimie des eaux n'a pas été suffisant pour permettre la régénération des invertébrés les plus sensibles.

17. Une régénération biologique intervient lorsque la qualité de l'eau est suffisamment bonne pour que la faune sensible puisse se régénérer. Étant donné que toutes les communautés biologiques sont dynamiques, il est nécessaire de comprendre l'enchaînement des étapes du processus de régénération écologique. Par conséquent, il n'est guère probable qu'un système écologique revienne à un stade antérieur, car il reflétera toujours l'état actuel des conditions physiques, chimiques et biologiques.

#### IV. MODÉLISATION DYNAMIQUE DES EAUX DE SURFACE

18. Les modèles dynamiques viennent compléter la méthode des charges critiques dans la mesure où ils permettent de prévoir le temps nécessaire à la régénération chimique consécutive aux réductions des émissions. Ils peuvent également être employés aux fins de fixer les niveaux de dépôt requis pour obtenir, dans un délai donné, un état chimique cible prescrit et sont donc directement utilisables pour déterminer les futures réductions nécessaires des émissions. Les modèles dynamiques peuvent contribuer à la mise en œuvre de la Convention dans deux domaines importants: premièrement, ils peuvent procurer une estimation de l'état chimique escompté des eaux de surface à un moment quelconque dans l'avenir, suite à l'application du Protocole de Göteborg (évaluation de l'impact des réductions des émissions), et, deuxièmement, ils peuvent aider à calculer (optimiser) les réductions ultérieures des émissions (contribution au processus d'élaboration de modèles d'évaluation intégrée).

19. Tout comme il y a eu un décalage chronologique entre les dommages subis par le biote et le début des dépôts acides, la régénération consécutive à la régression de l'acidification sera elle aussi retardée. Dans la succession des événements allant du dépôt d'acide fort aux dommages subis par les organismes indicateurs clefs, il y a deux facteurs très importants, qui peuvent être à l'origine de retards dans les réactions. Il s'agit, d'une part, des processus biogéochimiques, qui peuvent retarder la réaction chimique des sols des bassins hydrographiques et, par conséquent, des eaux de surface et, d'autre part, des processus biologiques qui peuvent à leur tour retarder la réaction des organismes indicateurs, par exemple les dommages causés aux poissons. Dans les modèles utilisés pour déterminer les charges critiques, on envisage uniquement l'état d'équilibre, dans lequel le processus de réaction chimique et biologique à une variation des dépôts est achevé. Dans les modèles dynamiques, en revanche, on tente d'estimer le temps nécessaire pour que l'écosystème parvienne à un nouvel état d'équilibre. Le PIC-Eaux a évalué les possibilités et les contraintes propres à l'utilisation de modèles dynamiques pour mieux définir les limites imposées et les délais nécessaires aux processus de régénération.

20. Quatre modèles biogéochimiques largement utilisés qui sont suffisamment simples pour être appliqués à l'échelle régionale ont été documentés et testés en fonction des besoins découlant de la Convention (Posch *et al.*, 2003). Parmi ceux-ci, le modèle MAGIC (Model of Acidification of Groundwater in Catchments) (Cosby *et al.*, 1985a) est axé sur la chimie des eaux de surface et est généralement appliqué à l'échelle d'un bassin hydrographique. MAGIC est un modèle à paramètres concentrés d'une complexité intermédiaire, mis au point pour prévoir les effets à long terme des dépôts acides sur la chimie des sols et des eaux de surface. Ce modèle simule la chimie de la solution du sol et celle des eaux de surface pour établir des prévisions des concentrations annuelles moyennes des principaux ions dans les lacs et les cours d'eau. MAGIC a été modifié et développé à plusieurs reprises par rapport à la version initiale qui remonte à 1984 et a été largement appliqué et expérimenté sur de nombreux sites et dans de nombreuses régions du monde entier (Cosby *et al.*, 2001). L'expérimentation des modèles comprenait une comparaison avec des données d'observation à long terme, une comparaison avec les résultats de manipulations de grande envergure et une comparaison avec des reconstructions historiques fondées sur des données paléolimnologiques diatomées). Dans l'ensemble, ce modèle s'est avéré solide, fiable et utile pour toute une gamme d'activités de gestion scientifique et environnementale.

21. Une évaluation régionale de la réaction des eaux de surface à la mise en œuvre du Protocole de Göteborg a été réalisée au titre du projet RECOVER:2010 de l'Union européenne (Ferrier *et al.*, 2001). La modélisation à l'échelle régionale produit des résultats sous la forme d'une série chronologique pour chacun des sites considérés et on peut en faire la synthèse pour obtenir des données sur les réactions régionales dans le temps.

22. Les modèles dynamiques permettent actuellement d'évaluer les incidences de la réalisation des réductions des émissions convenues en vertu du Protocole de Göteborg. Ils permettent aussi d'étudier la question de savoir si les accords actuels favorisent une évolution appropriée de la chimie des eaux de surface dans un certain délai et ils peuvent aider à identifier les régions dans lesquelles des réductions supplémentaires pourraient se révéler nécessaires en vue d'atteindre un état chimique visé à un moment précis. S'il s'avère que des réductions supplémentaires des émissions sont souhaitables, les modèles peuvent également servir à déterminer le niveau de dépôt auquel il faut parvenir dans un certain laps de temps pour obtenir l'état chimique recherché dans un délai précis. Cette dernière possibilité offre un net avantage par rapport à la méthode des charges critiques, qui permet uniquement d'établir une estimation du niveau de dépôt requis pour obtenir la chimie des eaux recherchée à un moment futur indéterminé, lorsque le système aquatique aura atteint un état d'équilibre, ce qui risque de prendre plusieurs décennies, voire plusieurs siècles.

23. L'application de tous les modèles mathématiques comporte des incertitudes. Les incertitudes techniques de la modélisation dynamique des eaux de surface sont liées à l'estimation des paramètres et éléments pris en compte dans les modèles à partir des données observées, et elles sont dues essentiellement à des erreurs de mesure et à des problèmes de variabilité aussi bien dans le temps que dans l'espace. Les incertitudes méthodologiques comme celles qui concernent la dynamique de l'azote, le rôle de la matière organique et les phénomènes d'ordre climatique, notamment les épisodes de dépôt de sel marin, sont plus difficiles à évaluer (Ferrier *et al.* 2001). L'insuffisance des connaissances scientifiques est un facteur important pour cette catégorie d'incertitudes. On a notamment entrepris beaucoup d'études pour mieux comprendre les phénomènes de régulation des fuites d'azote du système terrestre vers le système

aquatique, mais cette question n'en demeure pas moins une source importante d'incertitudes dans les modèles.

24. Les travaux futurs devraient notamment tenir compte des réactions biologiques dynamiques dans le contexte du processus de régénération. L'amélioration à large échelle de la qualité des eaux de surface au cours des 15 à 20 dernières années devrait se traduire par une régénération biologique. Jusqu'à présent, toutefois, il y a relativement peu d'exemples documentés de la régénération biologique, ce qui peut s'expliquer par des retards dans la réaction biologique mais aussi par un manque de données appropriées de surveillance à long terme.

25. L'application du modèle MAGIC aux régions d'Europe où les eaux de surface sont considérées comme sensibles à l'acidification dépend essentiellement de la disponibilité des données sur la chimie des sols et des eaux de surface, dont on a besoin pour calibrer le modèle et en établir les paramètres. Les PIC (Forêts, Cartographie et modélisation, Eaux et Surveillance intégrée) jouent un rôle crucial dans l'obtention de cette information. Le modèle MAGIC peut à présent être largement appliqué dans l'ensemble des zones sensibles à l'acidification d'Europe à l'appui des objectifs de la Convention. Toutefois, il demeure nécessaire de perfectionner ce modèle, tant du point de vue de son application que de son interprétation. Des améliorations de cette nature s'imposent dans un proche avenir pour pouvoir exploiter pleinement le potentiel des modèles dynamiques, en temps voulu pour l'examen du Protocole de Göteborg qui va avoir lieu prochainement.

## V. MÉTAUX LOURDS DANS LES EAUX DE SURFACE

26. En 1999 (dans le cadre de son rapport sur 12 ans), le PIC-Eaux a procédé à une évaluation des métaux lourds dans les eaux de surface à partir des informations figurant dans la base de données du programme (Skjelkvåle *et al.* 2000). Les résultats ont montré que la base de données du PIC-Eaux contenait les informations de plusieurs sites fournissant des données sur les métaux lourds, mais que ces sites étaient situés dans un nombre relativement restreint de pays, lesquels, en outre, communiquaient ces informations pour moins de sites qu'ils ne le faisaient s'agissant des données sur les grands composants chimiques. Pour avoir une image précise des concentrations générales de métaux lourds dans les eaux de surface dans l'ensemble de l'Europe et de l'Amérique du Nord, il faudrait des données sur les métaux lourds pour un plus grand nombre de sites assurant une couverture géographique plus complète.

27. Peu de sites disposent de longues séries de données pour les métaux lourds. Les méthodes d'analyse ont changé et les seuils de détection ont généralement baissé tout au long de la période de surveillance dans le cas des sites où sont effectuées des mesures à long terme. Tant en raison du changement de méthode que du changement du seuil de détection, il s'avère difficile de dégager des tendances chronologiques pour les métaux lourds dans de nombreux sites.

28. Les données sur les métaux lourds qui figurent dans la base de données du PIC-Eaux ont été analysées au moyen de différentes méthodes présentant des degrés de précision divers. Ces dernières années, l'emploi de la méthode de spectrométrie de masse – plasma à couplage inductif – s'est généralisé et s'est traduit par des améliorations majeures des seuils de détection pour de nombreux métaux. Un interétalonnage périodique des méthodes d'analyse des métaux lourds est crucial pour améliorer la qualité des résultats et assurer la comparabilité des données



dans le cadre du programme. Tous les laboratoires fournissant des données au PIC-Eaux participent aux opérations nationales et internationales d'interétalonnage.

29. Les métaux lourds présents dans les eaux douces sont beaucoup plus fréquemment influencés par les sources de pollution locales et les activités humaines dans les bassins hydrographiques que les éléments déterminants de l'acidification (sulfates, nitrates, pH). Par conséquent, les sites sur lesquels on observe les effets des métaux lourds provenant de la pollution atmosphérique à longue distance doivent être sélectionnés avec beaucoup de soin.

30. Les résultats de l'évaluation des métaux lourds dans les eaux de surface effectuée par le PIC-Eaux pour la période 1999-2001 présentés dans le rapport sur 15 ans confirment les résultats du rapport sur 12 ans. Toutefois, en raison du nombre peu élevé de sites fournissant des données sur les métaux lourds et à cause des points faibles des données disponibles (séries courtes, changements de méthodes d'analyse), il n'est toujours pas possible de procéder à une analyse régionale des tendances à long terme pour les métaux lourds, comme on l'a fait pour l'acidification. Afin de pouvoir procéder à une évaluation de la pollution des eaux de surface à l'échelle régionale et des tendances temporelles pour les métaux lourds, il faudrait des données de qualité élevée pour un plus grand nombre de sites.

31. Une tâche importante consiste à harmoniser les critères de qualité de l'eau qu'appliquent les différents pays, s'agissant des concentrations de métaux lourds. À l'heure actuelle, les limites critiques pour de nombreux métaux lourds diffèrent de plus d'un ordre de grandeur d'un pays à l'autre.

## VI. TRAVAUX FUTURS

32. Les résultats communiqués par le PIC-Eaux montrent clairement que les eaux de surface réagissent aux variations des dépôts de polluants atmosphériques. En fait, les eaux de surface réagissent beaucoup plus que les sols ou la végétation terrestre aux changements touchant le transport à longue distance des polluants acidifiants. Les lacs et les cours d'eau offrent aussi l'intérêt de montrer de manière intégrée les effets obtenus à l'échelle de tout un bassin hydrographique. Le réseau du PIC-Eaux couvre une vaste région géographique et sa base de données comprend des séries de données à long terme (sur plus de 15 ans) pour de nombreux sites. Il est donc en mesure de fournir des informations illustrant les changements qui résultent de l'application des protocoles.

33. L'évolution future en matière de régénération suite à une diminution de l'acidification peut être influencée par un certain nombre de facteurs de confusion. On estime généralement que le climat est en train de subir des transformations à long terme, et il se pourrait que l'orientation et l'ampleur de ces changements affectent sensiblement le comportement des écosystèmes aussi bien terrestre qu'aquatique. Si cela se confirme, les changements climatiques pourraient exercer une influence majeure sur l'état futur de l'acidification des eaux de surface. La poursuite des programmes nationaux de surveillance qui communiquent leurs données au PIC-Eaux et les opérations annuelles d'interétalonnage chimique et biologique demeurent les activités les plus importantes inscrites au programme de travail futur du PIC-Eaux.

34. La cartographie des charges critiques pour les polluants acidifiants constitue une activité essentielle au titre de la Convention. Le PIC-Eaux mettra à profit les compétences et les données

disponibles dans le cadre de son réseau pour appuyer les travaux de modélisation entrepris en vertu de la Convention et évaluer les possibilités d'appliquer la modélisation dynamique aux eaux de surface en Europe et en Amérique du Nord.

35. Les travaux futurs devraient également tenir compte des réactions biologiques dynamiques dans le contexte du processus de régénération. L'amélioration généralisée de la qualité des eaux de surface enregistrée au cours des 15 à 20 dernières années devrait se traduire par une régénération biologique. Cependant, il existe relativement peu d'exemples documentés de régénération biologique, ce qui peut s'expliquer par la nature dynamique des réactions biologiques mais aussi par un manque de données de surveillance à long terme appropriées. Le PIC-Eaux étudiera les possibilités de mettre au point des modèles de réaction biologique pour évaluer la régénération consécutive à la régression de l'acidification.

36. Les métaux lourds (en particulier le plomb, le cadmium et le mercure) et les polluants organiques persistants (POP) entrant en jeu dans la pollution à longue distance n'ont pas encore été étudiés avec la même attention dans le cadre des programmes de surveillance que les polluants acidifiants. À l'avenir, le PIC-Eaux envisage de procéder à une évaluation des données existantes pour les POP (tant sur le plan chimique que biologique) et d'élaborer des recommandations en ce qui concerne les activités de surveillance et le calcul de relations dose-réponse appropriées. Il participera donc activement à l'élaboration ultérieure de méthodes fondées sur les effets pour les POP et les métaux lourds.

## VII. BIBLIOGRAPHIE

Cosby, B.J., Ferrier, R.C., Jenkins, A., Wright, R.F. 2001. Modelling the effects of acid deposition: refinements, adjustments and inclusion of nitrogen dynamics in the MAGIC model. *Hydrology and Earth System Sciences*, **5(3)**, 499-517.

Cosby, B.J., Hornberger, G.M., Galloway, J.N., Wright, R.F. 1985. Modelling the effects of acid deposition: Assessment of a lumped parameter model of soil water and streamwater chemistry. *Water Resources Research*, **21(1)**, 51-63.

Ferrier, R. C., Jenkins, A., Wright, R. F., Schöpp, W., and Barth, H. 2001. Assessment of recovery of European surface waters from acidification 1970-2000: An introduction to the Special Issue. *Hydrology and Earth System Sciences*. 5: 274-282.

Posch, M., Hettelingh, J.-P., De Vries, W., Sverdrup, H., Wright, R.F. 2003. Manual for dynamic modelling of soil response to atmospheric deposition. Report to UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (en cours d'élaboration).

Raddum, G. G. et Fjellheim, A. 2003. Liming of River Audna, southern Norway. A large scale experiment of benthic invertebrate recovery. *Ambio* 3: **en cours d'impression**.

Raddum, G. G., Fjellheim, A., and Skjelkvåle, B. L. 2001. Improvements in water quality and aquatic ecosystems due to reduction in sulphur deposition in Norway. *Water Air Soil Pollut.* **130**: 87-98.

Skjelkvåle, B. L., Andersen, T., Halvorsen, G. A., Heegaard, E., Stoddard, J. L., and Wright, R. F. 2000. The 12-year report; Acidification of surface water in Europe and North America;

trends, biological recovery and heavy metals. SNO 4208/2000, ICP Waters report 52/2000, Norwegian Institute for Water Research, 108 pp.

Skjelkvåle, B. L., Stoddard, J. L., and Andersen, T. 2001. Trends in surface waters acidification in Europe and North America (1989-1998). *Water Air Soil Pollut.* 130: 787-792.

Stoddard, J. L., Jeffries, D. S., Lükewille, A., Clair, T. A., Dillon, P. J., Driscoll, C. T., Forsius, M., Johannessen, M., Kahl, J. S., Kellogg, J. H., Kemp, A., Mannio, J., Monteith, D., Murdoch, P. S., Patrick, S., Rebsdorf, A., Skjelkvåle, B. L., Stainton, M. P., Traaen, T. S., van Dam, H., Webster, K. E., Wieting, J., and Wilander, A. 1999. Regional trends in aquatic recovery from acidification in North America and Europe 1980-95. *Nature* 401: 575-578.

Yan, N. D., Keller, W., Arnott, S. E, Gunn, J. M., Raddum, G. G., Hutchinson, N. J, and Åtland, Å. 2003. Developing a conceptual ecological recovery framework for acidified lakes: One key to understanding factors that may confound recovery. *Ambio 3: en cours d'impression.*

Note: Cette bibliographie est reproduite telle qu'elle a été reçue par le secrétariat.

-----