



**Conseil économique
et social**

Distr.
GÉNÉRALE

EB.AIR/WG.1/2004/14/Rev.1
21 septembre 2004

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-troisième session, Genève, 1^{er}-3 septembre 2004)
Point 6 de l'ordre du jour provisoire

**RAPPORT DE FOND DE 2004 SUR L'EXAMEN ET L'ÉVALUATION DES
EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE ET DES TENDANCES
ENREGISTRÉES À CET ÉGARD: RÉSUMÉ**

Établi par le Bureau du Groupe de travail des effets avec le concours
d'un consultant et en collaboration avec le secrétariat

Introduction

1. À sa dix-huitième session, l'Organe exécutif a donné le coup d'envoi à la préparation du rapport de fond de 2004 sur l'examen et l'évaluation des effets actuels de la pollution atmosphérique et des tendances enregistrées à cet égard (ECE/EB.AIR/71, annexe IV, sect. 3.1.2). Le Groupe de travail des effets a approuvé en principe le projet de plan général du rapport (EB.AIR/WG.1/2001/3, annexe VIII, telle que modifiée) à sa vingtième session. Lors de sa vingt et unième session, il a adopté le projet de plan général annoté (EB.AIR/WG.1/2002/5, tel que modifié) et a prié son bureau de continuer à organiser les travaux (EB.AIR/WG.1/2002/2, par. 54). Conformément au plan de travail de 2003 pour la mise en œuvre de la Convention (ECE/EB.AIR/77/Add.2, sect. 3.1.2), adopté par l'Organe exécutif à sa vingtième session, le projet de rapport de fond de 2004 a été présenté au Groupe de travail des effets lors de sa

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.

vingt-deuxième session. À la même session, le Groupe de travail a approuvé ce projet, présenté succinctement dans le document EB.AIR/WG.1/2003/3/Add.1, a pris note des modifications proposées et a décidé de le soumettre à l'Organe exécutif pour information. Il a également décidé que le Bureau, en collaboration avec le secrétariat, ferait en sorte que le rapport soit achevé et publié à temps pour sa vingt-troisième session et le vingt-cinquième anniversaire de la Convention.

2. Le Bureau du Groupe de travail des effets a coordonné la mise au point du rapport de fond et de son résumé, présenté ci-après, en collaboration étroite avec les Programmes internationaux concertés (PIC) et l'Équipe spéciale des aspects sanitaires de la pollution atmosphérique, et avec le concours d'un consultant, M. G. Fenech, et du secrétariat.

3. À sa vingt-troisième session, le Groupe de travail des effets a approuvé le rapport de fond de 2004 sur l'examen et l'évaluation des effets de la pollution atmosphérique et des tendances enregistrées à cet égard, tel que modifié, et a demandé que ce rapport soit soumis à l'Organe exécutif (en anglais seulement). Il a également modifié et approuvé le résumé du rapport et a décidé de soumettre la version révisée à l'Organe exécutif.

I. HISTORIQUE

4. L'historique de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance remonte aux années 60, époque à laquelle des scientifiques ont commencé à soupçonner l'existence d'un lien entre les émissions de soufre en Europe et l'acidification des lacs en Scandinavie. Ce soupçon s'est précisé dans le courant des années 70, des éléments de plus en plus nombreux apportant la preuve que les polluants pouvaient voyager sur des centaines de kilomètres à partir de leur point d'émission et affecter très loin de là la qualité de l'air et les écosystèmes. La Convention a été le premier instrument multilatéral conçu pour protéger l'environnement contre la menace croissante de pluies acides et de brouillards photo-oxydants. Adoptée en 1979, elle est entrée en vigueur en 1983. Huit protocoles ont suivi, qui exposent les engagements complémentaires pris par les États pour lutter contre la pollution atmosphérique.

5. Les Parties à la Convention ont dès le départ été conscientes de la nécessité de fonder les futures décisions concernant la lutte contre la pollution atmosphérique sur des bases scientifiques solides. En conséquence de quoi:

a) Le Programme concerté de surveillance continue et d'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe (EMEP) a été mentionné dans le texte même de la Convention;

b) En avril 1981, le Groupe de travail des effets a été créé pour s'occuper des effets des composés soufrés et d'autres grands polluants atmosphériques sur la santé de l'homme et sur l'environnement.

6. Dans les années qui ont suivi l'adoption de la Convention, le débat sur les dommages causés par la pollution atmosphérique aux forêts, à l'eau douce et aux matériaux, ainsi que sur ses conséquences nuisibles pour la santé de l'homme, a poussé à agir et à mettre au point les premiers protocoles. Les Programmes internationaux concertés (PIC) ont été établis sous les auspices du Groupe de travail des effets pour faire des études plus approfondies et entreprendre

la surveillance à long terme des écosystèmes et des matériaux touchés. Aujourd'hui, il y a six PIC – dont chacun est dirigé par un pays chef de file, organisé par une équipe spéciale et assisté par un centre spécial – plus l'Équipe spéciale des aspects sanitaires de la pollution atmosphérique, créée conjointement par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Organe exécutif de la Convention. Leurs travaux scientifiques sont menés parallèlement à ceux de l'EMEP dans le domaine des sciences de l'atmosphère et à ceux du Groupe de travail des stratégies et de l'examen qui étudie la nécessité de réviser les protocoles en vigueur ou d'en établir de nouveaux.

7. Le rapport de fond fait le point des effets de la pollution atmosphérique et des tendances enregistrées dans ce domaine, en grande partie sur la base des résultats des travaux à long terme des PIC et de l'Équipe spéciale, le but étant de fournir à l'Organe exécutif les données récapitulatives et les évaluations dont il a besoin pour l'examen des protocoles à la Convention, qui doit avoir lieu prochainement.

II. ÉVOLUTION DES TRAVAUX CONCERNANT LES EFFETS MENÉS DANS LE CADRE DE LA CONVENTION

8. On a toujours attaché une grande importance aux effets de la pollution atmosphérique lors de l'élaboration des protocoles, mais au début on ne se fondait pas sur eux pour définir les obligations des Parties en matière de réduction des émissions. C'est ainsi que le Protocole de 1985 sur le soufre établissait un taux de réduction uniforme, les Parties devant diminuer leurs émissions annuelles de 30 %. Le Protocole de 1988 sur les oxydes d'azote, quant à lui, prévoyait que les Parties limiteraient leurs émissions tout en appliquant les meilleures techniques disponibles aux grandes sources nouvelles.

9. À partir du milieu des années 80, de vastes réseaux coopératifs de surveillance ont été mis en place dans le cadre des PIC. Mettant à profit les programmes nationaux existants, ils ont fourni des données d'observation systématiques permettant de mieux comprendre les effets de la pollution atmosphérique sur divers récepteurs.

10. C'est dans le Protocole de 1988 sur les oxydes d'azote que l'on a pour la première fois mentionné la possibilité de se fonder directement sur les effets pour fixer les objectifs concernant la réduction des émissions. L'article 2 précise en effet que les Parties doivent engager des négociations sur «les mesures ultérieures à prendre pour réduire les émissions annuelles nationales d'oxydes d'azote» en tenant compte «des charges critiques acceptées sur le plan international», c'est-à-dire des niveaux de dépôt au-dessous desquels, selon les connaissances actuelles, il n'y a pas d'effets nocifs sur les écosystèmes.

11. La définition des charges critiques a nécessité un gros travail. De nombreux ateliers scientifiques et d'autres réunions d'experts ont été organisés à la fin des années 80 et dans les années 90 pour déterminer les récepteurs et les seuils de pollution. Un manuel a été établi afin d'aider les Parties à appliquer les méthodes recommandées pour calculer et cartographier les charges critiques de façon harmonisée. Chaque Partie était chargée de recueillir elle-même les données la concernant.

12. Finalement, les charges critiques pour l'acidité des sols forestiers et des eaux de surface ont été établies et cartographiées à l'échelle de l'Europe, de même que leurs dépassements

(c'est-à-dire les dépôts qui excèdent la charge critique). Une équipe spéciale relevant du Groupe de travail des stratégies a étudié les résultats de modèles d'évaluation intégrée utilisant des données sur les charges critiques associées à des données météorologiques, à des données d'émission et à des renseignements sur les coûts de réduction. Elle a établi plusieurs scénarios de réduction des émissions pour faciliter la négociation du Protocole de 1994 relatif à une nouvelle réduction des émissions de soufre.

13. Le Protocole de 1994 relatif au soufre a été le premier instrument fondé sur les effets à fixer des limites pour l'émission de polluants atmosphériques de façon à assurer la protection voulue de l'environnement au moindre coût pour les pays concernés. À la différence des protocoles antérieurs, il tient compte de la capacité de l'environnement à supporter certains niveaux de pollution, tout en fixant pour chaque pays un objectif différent en matière de réduction des émissions, sous la forme d'un plafond d'émission.

14. La définition du dépassement des charges critiques dans le cas de l'acidité (c'est-à-dire le dépôt excédant les charges critiques) a encore été perfectionnée de manière à ce que soit pris en considération à la fois le dépôt de soufre et le dépôt d'azote. Des charges critiques ont également été calculées pour l'effet eutrophisant de l'azote sur les écosystèmes terrestres. Les charges critiques ont donc été formulées de façon à tenir compte de des effets acidifiants et de des effets eutrophisants. On a également défini les niveaux d'ozone critiques pour la protection de la santé de l'homme et des végétaux.

15. L'approche fondée sur les effets a été reprise dans le Protocole de Göteborg adopté en 1999, instrument qui porte sur plusieurs polluants et plusieurs effets. Il vise à combattre à la fois l'acidification, l'eutrophisation et l'ozone troposphérique, en fixant des plafonds d'émission pour quatre polluants: le soufre, les oxydes d'azote (NO_x), l'ammoniac et les composés organiques volatils (COV).

16. Deux protocoles ont été adoptés en 1998, portant sur des polluants atmosphériques qui n'étaient pas couverts par les précédents. Le Protocole de 1998 relatif aux métaux lourds concerne les problèmes environnementaux liés au transport à longue distance de ces métaux. Il est axé dans un premier temps sur le cadmium, le plomb et le mercure, mais prévoit la possibilité d'ajouter d'autres métaux lourds à cette liste, si besoin est. Ce Protocole vise à réduire les émissions des trois métaux prioritaires, ayant pour origine les sources industrielles, la combustion et l'incinération de déchets. Le Protocole de 1998 relatif aux polluants organiques persistants (POP), quant à lui, vise à lutter contre la dissémination dans l'environnement de certains pesticides, certains produits chimiques industriels (comme les PCB) ou certaines substances (comme les dioxines) qui se forment naturellement lors de l'incinération des déchets et de la combustion. Le Protocole énumère 16 substances et prévoit que la liste pourra être complétée et que les obligations pourront être modifiées au fur et à mesure que l'on obtiendra de nouvelles données. Ces deux Protocoles ne procèdent ni l'un ni l'autre d'une démarche fondée sur les effets, mais des travaux sont en cours pour déterminer la possibilité d'appliquer la méthode des charges critiques à certains métaux lourds.

III. SITUATION ET TENDANCES

A. Effets de la pollution atmosphérique sur la santé de l'homme

17. De nombreux éléments donnent à penser que l'exposition à la pollution atmosphérique, même aux niveaux qui sont courants aujourd'hui en Europe, nuit à la santé de l'homme. En particulier, l'exposition à des polluants comme les particules et l'ozone s'accompagne d'une augmentation du nombre de personnes hospitalisées pour maladie cardiovasculaire ou respiratoire et d'une hausse de la mortalité dans de nombreuses villes d'Europe et d'autres continents. En 2002, l'OMS estimait que près de 100 000 décès par an étaient liés à une exposition prolongée à la pollution atmosphérique en Europe.

1. Particules

18. Les résultats scientifiques suggèrent que les particules fines (diamètre inférieur à 2,5 microns) sont plus dangereuses que les particules grossières du point de vue de la mortalité et de leurs effets cardiovasculaires et respiratoires. Les particules fines sont pour beaucoup dans la mortalité et, entre autres, dans l'hospitalisation pour maladie cardiopulmonaire. Les effets des particules grossières sur la santé sont en outre suffisamment préoccupants pour justifier des mesures de réduction.

19. Les études épidémiologiques faites auprès d'importantes populations n'ont pas permis de déterminer une concentration limite en deçà de laquelle les particules contenues dans l'air ambiant n'ont pas d'effets sur la santé. Même exposés aux concentrations de particules fines les plus basses que l'on ait observées, certains sujets – les plus fragiles – courent un risque.

20. Parmi les caractéristiques qui contribuent à la toxicité des particules, on citera la teneur en métaux, la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et d'autres composés organiques, ainsi que le diamètre des particules – fines (< 2,5 microns) et extrêmement fines (< 0,1 micron). L'Équipe spéciale sur les aspects sanitaires de la pollution atmosphérique a cependant conclu qu'il n'était pas encore possible de mesurer l'importance relative des principaux éléments des particules du point de vue de leurs effets sur la santé de l'homme.

2. Ozone

21. Des études épidémiologiques récentes ont confirmé qu'une exposition de courte durée à l'ozone avait des effets sur la mortalité et les maladies respiratoires. Une exposition prolongée peut également avoir des conséquences: elle risque par exemple d'entraver le développement de la fonction pulmonaire chez l'enfant.

22. Les études épidémiologiques ne permettent pas de définir un seuil de concentration pour l'exposition à court terme. Les expériences sur le long terme ne permettent pas non plus d'établir de seuil.

3. Métaux lourds

23. L'Équipe spéciale a examiné les données sur les sources, les propriétés chimiques et la répartition spatiale de la pollution provoquée par le cadmium, le plomb et le mercure, et a évalué ses effets potentiels sur la santé en Europe.

24. Les produits alimentaires sont la principale source d'exposition de la population au cadmium (environ 99 % de l'absorption totale chez les non-fumeurs). Les reins et les os sont particulièrement touchés en cas d'exposition chronique. Tout porte à croire que, même si le dépôt atmosphérique est relativement faible par rapport aux quantités présentes dans l'environnement, le cadmium s'accumule dans le sol, en particulier les terres arables, et les bassins versants dans certaines conditions, ce qui augmente le risque de contamination future des produits alimentaires.

25. Le sol et la poussière sont d'importantes sources d'exposition au plomb, en particulier pour les jeunes enfants. Les enfants constituent la population critique en raison des effets possibles du plomb sur le développement neurocomportemental. L'ensemble de la population absorbe principalement ce métal par voie alimentaire, mais aujourd'hui l'exposition environnementale au plomb peut être considérée comme relativement sûre pour les adultes. D'après les données actuelles sur la concentration de plomb dans l'air et les estimations de l'absorption quotidienne de plomb par le biais des aliments, cette exposition tend à diminuer, en particulier dans les pays où le plomb a été éliminé de l'essence.

26. Le transport transfrontière à longue distance du mercure d'origine anthropique contribue beaucoup à la concentration de ce métal dans l'environnement. Il est difficile d'estimer le risque d'exposition alimentaire dû au dépôt de mercure sur le sol mais les faits montrent clairement que le mercure s'accumule dans les horizons de surface à matière organique, avec un risque accru de méthylation et d'entraînement de mercure dans les eaux de surface. La teneur en mercure des poissons dépasse souvent la limite recommandée dans de nombreux pays.

4. Polluants organiques persistants (POP)

27. L'Équipe spéciale a étudié les risques que ces polluants présentent pour la santé et a inventorié les POP dont le transport à longue distance contribue sensiblement à l'exposition et aux risques sanitaires. Elle a aussi évalué brièvement les dangers de divers POP et mis en lumière les principales lacunes de l'information nécessaire pour estimer les risques.

B. Effets de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes

1. Eaux de surface

28. En ce qui concerne les eaux de surface, la réduction des émissions a pour objectif premier la régénération biologique, c'est-à-dire la réapparition d'espèces sensibles à l'acidification qui avaient disparu. Cela n'est possible que si la qualité de l'eau est suffisamment bonne. C'est là une des raisons pour lesquelles le PIC-Eaux met l'accent sur les données chimiques. Une autre raison est que les données sur la chimie de l'eau sont beaucoup plus faciles à obtenir que les données biologiques. Celles-ci sont toutefois nécessaires car les écosystèmes ne reviendront sans doute pas à l'état antérieur, mais refléteront les conditions physiques, chimiques et biologiques du moment.

29. La principale conclusion de l'analyse des tendances régionales effectuée par le PIC-Eaux est que les concentrations de sulfates ont diminué dans presque tous les lacs et cours d'eau d'Europe et d'Amérique du Nord. Ce résultat, qui ressort de données rassemblées pendant 15 ans, montre clairement que la réduction des émissions de SO₂ a eu des effets bénéfiques sur

l'environnement. Pour les concentrations de nitrates, en revanche, la situation a peu changé. Dans plus de la moitié des régions, il n'y a pas de tendance bien nette – augmentation ou diminution. La baisse des concentrations de sulfate, jointe à la quasi-stabilisation des concentrations de nitrates, a entraîné une diminution générale de l'acidité des eaux de surface.

30. La réaction biologique à la régression de l'acidification des eaux de surface ne semble uniforme dans la région. On observe des signes de régénération pour les invertébrés dans les pays scandinaves et dans les lacs canadiens auparavant pollués par d'importantes sources d'émission locales, mais sur les sites d'Europe centrale les plus acidifiés la qualité de l'eau ne s'est pas encore améliorée au point que l'on puisse détecter des effets généraux sur les systèmes biologiques.

31. D'après des prévisions faites au moyen à la fois de modèles en condition d'équilibre et de modèles dynamiques, la chimie des eaux de surface continuera à s'améliorer. Une comparaison des dépôts d'azote et de soufre enregistrés en 1990 sur 72 sites européens du PIC-Eaux avec les charges critiques d'acidité établies pour chaque site montre que celles-ci ont été dépassées dans 51 cas. L'application des plans actuels de réduction des émissions devrait ramener à 32 le nombre de sites où l'on observera sans doute encore des dépassements en 2010. Les modèles dynamiques prévoient le temps nécessaire à la régénération sur chaque site.

32. Les dépôts d'azote demeurent préoccupants. Environ la moitié des sites du PIC-Eaux sont caractérisés par une forte saturation d'azote. L'application du Protocole de Göteborg ralentira le processus, mais l'azote continuera à s'accumuler dans les écosystèmes terrestres, d'où un risque accru de saturation à long terme.

2. Forêts

33. L'état des forêts en Europe va se détériorant depuis plus de deux décennies. Des études faites au début des années 80 ont révélé que nombre d'entre elles étaient malades. À l'époque, les médias ont relayé la prédiction de la mort de nombreuses forêts sous l'effet de la pollution atmosphérique, ce qui a vivement inquiété le grand public. Après plus de 20 ans de recherche sur le dépérissement des forêts européennes et 17 ans de surveillance, les opinions sont plus nuancées; les dommages causés récemment aux forêts sont imputables aux effets synergiques de toute une série de causes naturelles et anthropiques, la pollution atmosphérique étant un facteur prédisposant, concomitant et déclenchant au niveau local.

34. La défoliation sert d'indicateur de nombreux facteurs environnementaux qui influent sur la vitalité des arbres. Depuis 1986, le PIC-Forêts suit l'évolution de l'état du houppier sur quelque 6 000 placettes de niveau I (surveillance à grande échelle) et ses observations ont révélé très nettement une augmentation globale de la défoliation. Après une amélioration temporaire ces dernières années, on constate actuellement une nouvelle détérioration. Il s'agit toutefois là d'une tendance générale qui masque d'importantes variations dans l'espace et dans le temps.

35. L'excès chronique d'azote provoque un déséquilibre nutritif dans les écosystèmes forestiers, ce qui accroît la vulnérabilité des plantes aux facteurs climatiques, comme le gel ou la sécheresse, ainsi qu'aux attaques de parasites. Sur 109 placettes de niveau II du PIC-Forêts, environ la moitié souffrait d'un déséquilibre nutritif. Ces placettes font partie du réseau de surveillance intensive de niveau II du PIC-Forêts, qui comprend 860 sites, mais ceux-ci n'ont pas

tous la totalité des données nécessaires pour établir l'existence de déséquilibres nutritifs. Les résultats concordent avec ceux d'une étude de modélisation portant sur environ 230 sites de niveau II, qui a abouti à la conclusion que sur 45 % des sites le dépôt d'azote était suffisant pour provoquer ce genre de déséquilibre. D'après cette même étude, le dépôt sur 92 % des sites est tel que l'azote continuera à s'accumuler dans le sol – ce qui, à long terme, entraînera une saturation d'azote dans les écosystèmes.

3. Végétation

36. Des études sur le terrain et des études concernant des indicateurs biologiques ont fourni des données importantes sur le rôle de l'ozone en tant que polluant phytotoxique en Europe. Depuis 1994, chaque printemps et chaque été, le PIC-Végétation mesure la fréquence des dégâts causés par l'ozone aux espèces sensibles. Des dégâts ont été enregistrés sur chacun des 35 sites du réseau en Europe et sur deux sites aux États-Unis pour la plupart des années et, sur de nombreux sites, plusieurs fois par an. Des dégâts dus à l'ozone ont également été constatés sur les feuilles de plus de 20 cultures agricoles et horticoles, notamment des salades et des épinards qui, en pareil cas, perdent leur valeur marchande. Sur de nombreux sites de surveillance biologique du PIC-Végétation, les participants ont aussi noté le recul dans la biomasse d'un biotype sensible de trèfle blanc, par rapport à un biotype résistant. On ne décèle aucune tendance particulière en ce qui concerne l'évolution de la fréquence des dégâts ou la modification de la biomasse, sans doute parce que la pollution due à l'ozone varie beaucoup d'une année à l'autre.

37. Pour les cultures et pour les essences forestières, on a mis au point des indices qui donnent de l'exposition des plantes à l'ozone une représentation plus réaliste, du point de vue biologique, que ne le font les indices fondés uniquement sur les concentrations d'ozone. Les nouveaux indices d'exposition tiennent compte de l'influence de l'humidité sur l'absorption d'ozone par les végétaux – ce qui est important car, pour une concentration d'ozone donnée, l'absorption d'ozone peut être beaucoup plus faible par temps sec que par temps humide. Ces indices sont utilisés pour améliorer les estimations des niveaux critiques. À la différence des niveaux critiques fondés sur les concentrations, les nouveaux rapports entre le rendement et l'absorption d'ozone permettent d'évaluer la perte de rendement.

38. L'analyse des mousses fournit une autre mesure, intégrée dans le temps, de la répartition spatiale des dépôts atmosphériques de métaux lourds dans les écosystèmes terrestres, et elle est plus facile et plus économique que l'analyse classique des précipitations. L'étude du PIC-Végétation sur les métaux lourds contenus dans les mousses fournit des données sur la concentration de 10 métaux lourds (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, fer, plomb, mercure, nickel, vanadium et zinc) dans des mousses croissant à l'état naturel dans toute l'Europe. Les cartes établies à partir de ces données montrent que les concentrations de métaux lourds dans les mousses, liées en particulier aux émissions industrielles, diminuent d'est en ouest. Dans des régions où il n'y a plus d'industries, on trouve encore de fortes concentrations dues à la présence d'anciens sites industriels ou d'anciennes mines. Le transport transfrontière à longue distance semble être à l'origine des concentrations élevées de métaux lourds observées dans des régions où il n'y a pas de sources d'émission locales, comme pour le plomb dans le sud de la Scandinavie. Une comparaison préliminaire des résultats des études de 1995 et de 2000/2001 révèle une diminution générale de la concentration d'arsenic, de cadmium, de plomb et de vanadium dans les mousses.

4. Surveillance intégrée des écosystèmes

39. Le réseau du PIC-Surveillance intégrée, qui comprend une cinquantaine de sites en Europe et un au Canada, a été créé spécialement pour aider à comprendre la dynamique et les processus de l'évolution des écosystèmes et pour déterminer les causes des changements. Il fournit des données utiles pour la mise au point, l'essai et l'étalonnage de modèles dynamiques. Les données, combinées avec celles qui proviennent des PIC ayant une couverture régionale plus étendue, fournissent une structure hiérarchique intégrée pour l'évaluation des effets des polluants atmosphériques à l'échelle européenne. Elles permettent de mieux comprendre l'acidification, l'eutrophisation et d'autres répercussions de l'azote, ainsi que le cycle et les effets des métaux lourds dans les écosystèmes.

40. Les bilans entrées-sorties dressés sur les sites du PIC-Surveillance intégrée renseignent sur l'accumulation ou la diffusion éventuelles de soufre, d'azote, de cations basiques et d'aluminium dans les écosystèmes. D'après les calculs effectués pour 21 sites en Europe, le sol de trois d'entre eux est en train de se régénérer après avoir reçu d'importants apports de soufre dans le passé, en rejetant davantage de sulfates qu'il n'en reçoit. Ces calculs fournissent aussi des indications sur l'acidification liée au dépôt d'azote et au cycle de l'azote sur les sites.

41. Les données d'observation à long terme recueillies sur les sites du PIC-Surveillance intégrée ont été utilisées pour mettre à l'essai des modèles dynamiques et pour les améliorer. Les simulations effectuées sur la base de ces données indiquent que la régénération des sols et des eaux ayant souffert de l'acidification dépend à la fois de l'ampleur et du calendrier de la réduction des émissions. Si l'on repousse l'année cible, la régénération des écosystèmes s'en trouvera retardée à court terme (moins de 30 ans). Pour la réaction à long terme, l'ampleur de la réduction des émissions importe plus que la date de sa mise en œuvre. Il demeure nécessaire de continuer à mettre au point des modèles pour la simulation de plusieurs processus essentiels, en particulier la dynamique de l'azote et ses relations avec les changements climatiques.

42. Pendant des décennies, de vastes régions d'Amérique du Nord et d'Europe ont reçu d'importants dépôts de composés azotés. Les sites du PIC-Surveillance intégrée aident à mieux comprendre le cycle de l'azote et à mieux prévoir les effets à long terme du dépôt excessif chronique de ce gaz.

C. Effets de la pollution atmosphérique sur les matériaux

43. Le choix du PIC-Matériaux s'est porté sur un ensemble représentatif de produits techniques et de matériaux entrant dans la composition du patrimoine culturel: matériaux métalliques, pierres, peintures, matériaux de contact électrique, matériaux en verre et polymères.

44. Pour de nombreux matériaux observés pendant la période 1987-1995 sur 39 sites, les taux de corrosion ont diminué de 30 à 70 %, essentiellement grâce à la baisse des concentrations de dioxyde de soufre dans l'air ambiant pendant la même période. Auparavant, ce polluant était le principal facteur de dégradation des matériaux et des biens du patrimoine culturel. D'après des données récentes, cette tendance favorable semble marquer une pause sur un nombre croissant de sites, parce que la corrosion est due non seulement au SO₂, mais encore à un mélange de composés soufrés et azotés, d'ozone et de particules. Cette multipollution explique aussi pourquoi les taux de corrosion dans les zones urbaines sont beaucoup plus élevés que dans les

zones rurales avoisinantes. Les taux de corrosion au centre de Stockholm, par exemple, étaient environ trois fois supérieurs à ceux qui étaient enregistrés dans la campagne à Aspöreten, à 80 kilomètres de là.

45. Les fonctions dose-réponse sur huit ans, conçues par le PIC-Matériaux, sont actuellement les meilleures fonctions dont on dispose pour la cartographie à l'échelle nationale et européenne. À l'aide de ces fonctions, plusieurs pays ont établi des cartes indiquant le risque accru de corrosion des matériaux. Une méthode analogue à celle des niveaux critiques a également été mise au point de façon à pouvoir utiliser ces fonctions pour fixer les objectifs en matière d'émission. Des calculs ont été faits, par exemple, pour déterminer quels seraient les niveaux de SO₂ requis pour maintenir les taux de corrosion à un niveau inférieur ou égal à 1,5 ou 2 fois le taux de corrosion en zone rurale. Les «niveaux acceptables» de SO₂ ainsi obtenus pour plusieurs matériaux sont fort bas comparés aux niveaux critiques pour la plupart des écosystèmes et pour la santé de l'homme.

46. Des études de cas ont montré que la dégradation sous l'effet des intempéries, et en particulier l'altération sous l'action de polluants acidifiants, entraînait d'importants rejets de métaux (comme le cuivre et le zinc) dans la biosphère. Ces rejets ont été quantifiés dans les pays où se trouvaient des biens et ressources menacés.

D. Modélisation et cartographie des effets et des risques de la pollution atmosphérique

47. Les bases de données européennes sur les charges et les niveaux critiques utilisées pour l'élaboration des protocoles fondés sur les effets ont été constituées par le PIC-Modélisation et cartographie. L'analyse des dépassements au moyen de la base de données utilisée aux fins du Protocole de Göteborg avait conduit à prédire qu'après la mise en œuvre de cet instrument, l'ampleur et le champ géographique des dépassements seraient nettement moins importants qu'en 1990 pour l'acidité, mais seulement un tout petit peu moins importants pour l'azote nutritif. L'objectif de non-dépassement ne serait pas atteint dans une grande partie de l'Europe.

48. Les bases de données européennes sur les charges critiques d'acidité et d'azote nutritif ont été mises à jour en 2003/2004. D'une façon générale, les nouvelles valeurs n'ont pas beaucoup changé par rapport à celles qui étaient utilisées en 1999. D'après les nouvelles cartes des dépassements, cependant, les dépassements qui subsisteront en 2010 seront plus importants qu'on ne l'avait prévu initialement lors de l'évaluation faite pour le Protocole de Göteborg. Cela tient principalement à l'amélioration du modèle de dépôt de l'EMEP, à la résolution plus fine du maillage de l'EMEP et à la prise en compte de dépôts dépendant des écosystèmes.

49. La révision des niveaux critiques d'ozone fondés sur les concentrations pour les cultures, la végétation semi-naturelle et les essences forestières ainsi que l'utilisation d'une représentation plus réaliste, du point de vue biologique, de l'exposition des cultures à l'ozone permettent aussi de faire de meilleures prévisions concernant le dépassement des niveaux critiques après la pleine application du Protocole.

50. En 2003, pour la première fois, on a inclus dans la base de données européenne sur les charges critiques d'acidité les paramètres nécessaires à une modélisation dynamique. Les modèles dynamiques fournissent des renseignements sur les délais de réaction de

l'écosystème – dommage ou régénération – en cas d'évolution des dépôts acidifiants. Un modèle dynamique très simple est proposé, applicable à l'échelle européenne. Les premiers essais ont montré que des améliorations étaient nécessaires au niveau européen. Pour pouvoir lier les modèles dynamiques aux modèles d'évaluation intégrée, on a besoin de données sur les «années cibles», c'est-à-dire sur le calendrier fixé pour atteindre les objectifs environnementaux.

51. Au cours des 10 dernières années, divers ateliers organisés dans le cadre de la Convention ont aidé à améliorer les méthodes de calcul des limites critiques et des charges critiques pour les métaux lourds – en particulier le plomb, le cadmium et le mercure – contenus dans les écosystèmes terrestres et aquatiques. Une étude réalisée en 2002 dans plusieurs pays européens a montré qu'il était possible d'établir des cartes des charges critiques et de leurs dépassements. Après une nouvelle amélioration des méthodes, de telles cartes pourraient être dressées à l'échelle européenne vers 2005.

IV. CONCLUSIONS

52. Les principales conclusions du rapport sont les suivantes:

- a) La surveillance des écosystèmes terrestres et aquatiques et de la corrosion des matériaux a joué un rôle décisif en révélant l'ampleur des dommages causés par la pollution atmosphérique et les tendances de ses effets en Europe et en Amérique du Nord. Des études sanitaires récentes ont confirmé l'étendue des effets des polluants atmosphériques;
- b) La chimie des lacs et des cours d'eau ayant souffert de l'acidification et la baisse du taux de corrosion pour de nombreux matériaux témoignent en particulier très nettement d'une régénération à la suite des dégâts de l'acidification;
- c) Des signes de régénération biologique ont été observés dans des lacs et des cours d'eau sensibles à l'acidité parallèlement à une amélioration de leurs caractéristiques chimiques consécutive à une baisse de la charge acidifiante;
- d) Les calculs montrent que la réduction des émissions a entraîné en Europe une diminution très sensible des dépôts excédant les charges critiques dans le cas de l'acidité;
- e) Les dépôts d'azote nutritif restent supérieurs aux charges critiques pour l'eutrophisation dans de vastes régions de l'Europe et augmentent les risques d'effets néfastes, par exemple la réduction de la diversité biologique;
- f) Les dommages causés par l'ozone sont largement répandus et ne suivent apparemment aucune tendance particulière dans le temps;
- g) Les données issues de la surveillance, les modèles et les fonctions dose-réponse fournissent de solides bases scientifiques pour la prévision des effets sur l'environnement. Des modèles et des méthodes plus sophistiqués sont actuellement mis au point et devraient favoriser le choix de nouvelles orientations;
- h) Même après l'application des protocoles existants, des problèmes subsisteront:

- i) Acidification. Des prévisions faites au moyen de modèles en condition d'équilibre et de modèles dynamiques montrent que des mesures supplémentaires s'imposent pour protéger tous les écosystèmes sensibles;
 - ii) Eutrophisation. De nombreuses zones forestières présentent des signes de déséquilibre nutritif et de lessivage des nitrates. De même, de nombreux sites aquatiques sont saturés d'azote. Les réductions des émissions prévues n'empêcheront pas une nouvelle accumulation d'azote;
 - iii) Ozone. Les niveaux actuels d'ozone dans de nombreuses villes d'Europe et d'Amérique du Nord ont des effets nocifs sur la santé. Ils continuent également à avoir des effets négatifs sur la végétation dans les zones urbaines et rurales. Les matériaux, y compris ceux du patrimoine culturel, sont plus rapidement attaqués par la corrosion dans les centres urbains;
 - iv) Particules. Les niveaux actuels de particules ont des effets nocifs sur la santé. Les particules contribuent aussi à la corrosion et à l'encrassement des matériaux dans les zones urbaines;
 - v) Métaux lourds. Bien que les émissions de plomb, de cadmium et de mercure aient été réduites, ces métaux continueront à s'accumuler dans le sol et devraient atteindre des concentrations qui nuiront aux biotes. La teneur des terres agricoles en cadmium ainsi que les concentrations de mercure dans les poissons sont préoccupantes en raison de leurs effets possibles sur la santé de l'homme;
- i) L'éventail des activités axées sur les effets a effectivement couvert l'essentiel des questions prioritaires visées par la Convention depuis les années 80, mais des réévaluations continues s'imposent pour que l'attention reste centrée sur l'objectif poursuivi;
- j) L'approche fondée sur les effets consiste à utiliser des indicateurs environnementaux pour obtenir une estimation des réductions des émissions requises pour atteindre un niveau donné de protection de l'environnement. Cette approche est un moyen efficace de poursuivre l'élaboration de politiques destinées à optimiser la réduction des émissions en vue d'atteindre les objectifs environnementaux au moindre coût total;
- k) La décision de se fonder directement sur les effets pour la définition des orientations a favorisé une interaction étroite entre les organes scientifiques et politiques et facilité la mise à profit des connaissances scientifiques dans les programmes nationaux et internationaux de réduction de la pollution;
- l) La participation des Parties aux programmes axés sur les effets a été décisive pour le succès de ces activités cependant que la structure de la Convention facilite l'évaluation et l'application des résultats obtenus;
- m) Les bases scientifiques solides sur lesquelles reposent les programmes axés sur les effets devraient permettre de continuer à améliorer les prévisions et la définition d'orientations nouvelles.

V. POURSUITE DES TRAVAUX

53. La valeur des travaux menés dans le cadre de la Convention est largement reconnue, principalement parce qu'ils sont fondés sur les meilleures connaissances scientifiques dont on dispose. Pour déterminer si les mesures de réduction de la pollution produisent les résultats escomptés, une surveillance à long terme s'impose. Pour aller de l'avant, il faut continuer à agir, notamment dans les domaines suivants:

a) Les évaluations intégrées ne fournissent actuellement pas de quantification et de description satisfaisantes des effets sur la santé de la pollution atmosphérique autres que la mortalité, par exemple des maladies ou des hospitalisations. Une évaluation des effets de l'ozone sur la santé exigerait des données comparables à l'échelle internationale sur les taux de morbidité de base, lesquelles ne sont actuellement pas disponibles pour l'Europe;

b) On connaît mal les effets sur la santé des différents éléments des particules, ce qui risque d'ajouter à l'incertitude des évaluations d'impact et de nuire à l'efficacité des stratégies de réduction de la pollution. Aussi, les chercheurs devront-ils s'employer à mieux étudier les effets des différents éléments des particules sur la santé et à améliorer la modélisation de la formation et du devenir des particules dans l'atmosphère;

c) Un certain nombre de facteurs confondants entrent en jeu dans la régénération chimique des écosystèmes et introduisent des incertitudes: la désorption et la minéralisation du soufre, les processus faisant intervenir les cations basiques et l'azote et les conséquences des changements climatiques. Une connaissance plus approfondie de ces facteurs serait nécessaire pour améliorer la modélisation;

d) Il faudrait s'attacher à mieux comprendre les processus biologiques et la régénération biologique afin de compléter notre connaissance des processus géochimiques. Des modèles dynamiques de la régénération biologique après acidification pourraient déjà être construits pour certains groupes d'organismes, mais la mise au point de tels modèles pour des applications plus générales exigera des efforts importants;

e) Il faudrait approfondir notre connaissance des effets à long terme de l'augmentation des dépôts d'azote sur un échantillon représentatif d'écosystèmes aquatiques et terrestres, et notamment des relations entre la croissance et la défoliation et les dépôts d'azote et des interactions entre les dépôts d'azote, les peuplements forestiers et la stabilité des écosystèmes, la structure des formations forestières et la biodiversité;

f) Les inquiétudes que suscitent les nouveaux POP soulèveront de nouveaux problèmes, les données dont on dispose sur ces substances étant rares et éparpillées;

g) Il conviendrait de réduire les incertitudes relatives aux effets sur les matériaux dans un environnement multipolluant;

h) Les problèmes environnementaux causés par les différents polluants atmosphériques sont souvent liés entre eux. Les scientifiques occupés à travailler sur les effets auront notamment pour mission de tenter une évaluation globale des polluants atmosphériques et des autres

agressions contre l'environnement et l'intégration des résultats obtenus selon des modalités systématiques et comparables, c'est-à-dire dans un modèle d'évaluation intégrée.

54. L'effort scientifique international mené dans le cadre de la Convention doit se poursuivre dans les domaines jugés prioritaires. Il a contribué de façon essentielle à l'établissement des bases scientifiques des travaux de la Convention et il est nécessaire pour suivre et évaluer les futurs progrès résultant de l'application des protocoles ainsi que pour fournir des données en vue de l'examen et de la révision éventuelle de ces instruments. C'est grâce à la coopération internationale et à la coordination des efforts que des méthodes novatrices ont été mises au point et adoptées, et que les bases de données de la Convention sur les effets des polluants atmosphériques ont été constituées. Les Parties sont instamment priées de continuer de collaborer à cet effort grâce à leurs programmes scientifiques nationaux, à la participation active de leurs experts et à leur appui aux PIC et aux équipes spéciales, qui jouent un rôle capital dans la coordination des efforts internationaux. Les Parties ont apporté une contribution essentielle aux travaux concernant les effets, lesquels influent déjà directement sur les orientations politiques et devraient continuer à leur fournir des bases rationnelles.
