



# Conseil économique et social

Distr. générale  
1<sup>er</sup> octobre 2010  
Français  
Original: anglais

## Commission économique pour l'Europe

### Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance

#### Vingt-huitième session

Genève, 13-17 décembre 2010

Point 5 de l'ordre du jour provisoire

#### État d'avancement des activités de base

## Transport hémisphérique des polluants atmosphériques (2010)

### Résumé

Établi par les coprésidents de l'Équipe spéciale du transport hémisphérique des polluants atmosphériques

### Table des matières

	<i>Paragraphes</i>	<i>Page</i>
I. Introduction.....	1	3
II. Conclusions générales.....	2	3
III. Principales conclusions sur l'ozone .....	3–22	4
A. Données d'observation .....	3	4
B. Modélisation aux échelles mondiale et régionale .....	4–13	4
C. Effets du transport intercontinental .....	14–18	6
D. Scénarios futurs pour les émissions et le climat .....	19–22	7
IV. Principales conclusions sur les particules .....	23–38	8
A. Données d'observation .....	23	8
B. Modélisation aux échelles mondiale et régionale .....	24–31	9
C. Effets du transport intercontinental .....	32–36	10
D. Scénarios futurs pour les émissions et le climat .....	37–38	11

V.	Principales conclusions sur le mercure .....	39–48	12
A.	Données d’observation .....	41	12
B.	Modélisation aux échelles mondiale et régionale .....	42–45	13
C.	Effets du transport intercontinental .....	46	13
D.	Scénarios futurs pour les émissions et le climat .....	47–48	14
VI.	Principales conclusions sur les polluants organiques persistants .....	49–61	14
A.	Données d’observation .....	50	15
B.	Modélisation aux échelles mondiale et régionale .....	51–57	15
C.	Effets du transport intercontinental .....	58	16
D.	Scénarios futurs pour les émissions et le climat .....	59–61	17
VII.	Principales recommandations .....	62–68	17
Annexe			
	Réponses intercontinentales annuelles relatives .....		21

## I. Introduction

1. L'Équipe spéciale du transport hémisphérique des polluants atmosphériques a été créée en décembre 2004 par l'Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique à longue distance, dans le but de mieux comprendre le transport intercontinental des polluants atmosphériques dans l'hémisphère Nord. Pour répondre à cet objectif et progresser sur le plan scientifique, l'Équipe spéciale, conduite par l'Union européenne et les États-Unis d'Amérique, a mis en place une série de projets et d'expériences en collaboration. Elle a organisé une quinzaine de réunions ou ateliers dans divers lieux d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Asie, auxquels ont assisté plus de 700 experts indépendants originaires de 38 pays. Elle a collaboré intensivement avec les centres et les équipes spéciales de la Convention et d'autres organismes internationaux et régionaux. Dans le présent résumé, établi par les coprésidents de l'Équipe spéciale, sont présentées les conclusions et les recommandations auxquelles a abouti l'Équipe spéciale à l'issue d'une évaluation en plusieurs volumes, qui devait servir à faire le point sur l'état des connaissances scientifiques concernant le transport intercontinental de l'ozone (O<sub>3</sub>), des particules, du mercure (Hg) et des polluants organiques persistants (POP)<sup>1</sup>.

## II. Conclusions générales

2. L'ozone, les particules, le mercure et les polluants organiques persistants constituent d'importants problèmes environnementaux dans de nombreuses régions du monde. Pour chacun de ces polluants, les concentrations ou les dépôts observés en un endroit donné peuvent être considérés comme composés de plusieurs parties distinctes, l'une d'entre elle étant liée au transport intercontinental des émissions anthropiques. Les autres parties peuvent être associées aux sources d'émissions naturelles ou aux sources d'émissions anthropiques locales ou régionales. Les sources d'émissions contribuant à chaque partie, la variation dans l'espace et dans le temps de la contribution, ainsi que les possibilités de réduction des émissions et la sensibilité aux mesures de réduction diffèrent suivant les parties. Dans la plupart des cas, l'atténuation des sources d'émissions locales ou régionales est la façon la plus efficace d'atténuer les effets locaux et régionaux de ces polluants. Toutefois, en l'absence de toute autre forme de coopération à l'échelle internationale dans le but de réduire les flux intercontinentaux de polluants atmosphériques, de nombreux pays ne sont actuellement pas en mesure de respecter leurs propres buts et objectifs en ce qui concerne la santé publique et la qualité de l'environnement. Compte tenu des changements qui interviendront à l'avenir dans les émissions à l'échelle mondiale, il leur sera sans doute, au cours des vingt à quarante prochaines années, de plus en plus difficile de respecter leurs propres objectifs en matière de politique environnementale sans faire appel à la coopération à l'échelle internationale pour s'attaquer aux flux transfrontières et intercontinentaux de polluants atmosphériques. En outre, coopérer en vue de réduire les émissions qui contribuent au transport intercontinental des polluants atmosphériques présente de nombreux avantages, tant pour les pays émetteurs que pour les pays récepteurs.

---

<sup>1</sup> À paraître dans la série consacrée à la pollution atmosphérique de la Commission économique pour l'Europe (CEE) de l'ONU. Les avant-projets sont disponibles sur le site Web suivant: [www.htap.org](http://www.htap.org).

### **III. Principales conclusions sur l'ozone**

#### **A. Données d'observation**

3. Des concentrations d'ozone en constante augmentation ont été mesurées en un certain nombre de stations réparties dans l'hémisphère Nord, suggérant que les concentrations hémisphériques d'ozone de base ont doublé au cours de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Ce changement est probablement dû en grande partie à l'augmentation des émissions anthropiques des précurseurs de l'ozone. Plus récemment, on a observé que l'augmentation était rapide dans la troposphère libre sous le vent d'Asie orientale, alors que les augmentations ralentissaient dans la couche limite en Europe centrale et en Amérique du Nord. Des mesures en certains endroits des côtes occidentales d'Europe et d'Amérique du Nord montrent clairement que les flux atmosphériques transocéaniques peuvent transporter des concentrations d'ozone qui approchent ou dépassent certaines normes ou objectifs en matière de qualité de l'air.

#### **B. Modélisation aux échelles mondiale et régionale**

4. Les expériences multimodèles sur le transport hémisphérique des polluants atmosphériques (HTAP), portant sur les effets de la réduction de 20 % des émissions de polluants anthropiques dans quatre régions couvrant approximativement les zones peuplées en Amérique du Nord, en Europe, en Asie méridionale et en Asie orientale, ont fourni, à partir de modèles multiples, la première série d'estimations comparables des relations source-récepteur intercontinentales. Les noms des régions sont ci-après employés pour désigner les régions rectangulaires qui englobent plus de 75 % des sources d'émissions anthropiques dans l'hémisphère Nord et comprennent dans certains cas d'importantes zones océaniques. On a aussi procédé à des analyses spécifiques afin de quantifier l'impact dans la région arctique des changements intervenus dans les émissions dans ces quatre régions.

5. La moyenne annuelle du rapport de mélange de l'ozone troposphérique, obtenue pour l'ensemble des quatre régions et l'ensemble des modèles employés, est d'environ 37 parties par milliard en volume (ppbv) (l'écart type étant de  $\pm 4$  ppbv). Cette concentration moyenne annuelle régionale d'ozone masque de grandes variations saisonnières et géographiques et de grandes différences suivant les modèles. Elle constitue toutefois un point de référence utile pour évaluer l'importance du transport intercontinental. Selon des estimations qui ont été publiées, environ 20 à 25 % de cette concentration moyenne annuelle au sol trouvent leur source dans la stratosphère, et un pourcentage semblable provient des émissions naturelles de précurseurs. Le reste est dû aux sources anthropiques de précurseurs, soit émis dans la région, soit provenant de l'extérieur de la région. La contribution relative des sources anthropiques et naturelles et des sources régionales et extrarégionales varie selon le lieu, la saison et l'année.

6. À l'aide des modèles, on peut évaluer que pour l'Europe, l'Asie orientale et l'Amérique du Nord la contribution absolue du transport intercontinental à l'ozone troposphérique est généralement maximale au printemps et en automne et est la plus petite au cours de l'été lorsque les concentrations d'ozone sont les plus élevées en raison de la production record des émissions aux niveaux local et régional. Dans ces régions, en hiver, le transport intercontinental de l'ozone peut dépasser la production locale et régionale. En Asie méridionale, qui est largement dominée par des régimes de mousson d'hiver et d'été, la contribution absolue tant du transport intercontinental que de la production locale et régionale de l'ozone est la plus grande au cours de la période de mousson d'hiver, et la contribution annuelle du transport intercontinental ne dépasse pas celle de la production locale et régionale. Les contributions intercontinentales à l'ozone troposphérique dans la

région arctique sont plus grandes que celles des émissions produites aux niveaux local et régional et sont maximales d'avril à juin, un maximum secondaire se produisant en octobre et en novembre. Dans leur ensemble, ces résultats indiquent que la diminution des émissions locales et régionales permet de diminuer efficacement les taux d'ozone les plus élevés, mais qu'une part importante de l'ozone troposphérique ne relève pas des administrations locales et régionales.

7. Afin de quantifier l'importance des changements intervenus dans les émissions à l'extérieur de chacune de ces régions par rapport aux changements intervenus dans les émissions à l'intérieur de chacune d'elles, nous avons défini la mesure de la «Réponse intercontinentale annuelle relative» (RAIR), qui est la somme des changements de la concentration moyenne annuelle dans une région, en réponse à la diminution de 20 % des émissions dans les trois autres régions, divisée par la somme des changements de concentration dans une région en réponse à une diminution de 20 % des émissions dans toutes les quatre régions. L'intervalle de mesure s'étend de 0 %, indiquant l'absence d'impact intercontinental, à 100 %, indiquant que la qualité de l'air dans une région est entièrement sous influence des sources intercontinentales. La réponse RAIR permet donc de mesurer le bénéfice qu'une région peut tirer de la réduction des émissions dans d'autres régions, lorsque la réduction des émissions est coordonnée à l'échelle intercontinentale. Les réponses RAIR calculées à partir des données d'expérience et des modèles multiples pour certains des différents polluants ou paramètres étudiés figurent dans le tableau à l'annexe du présent document.

8. Pour l'ozone, l'impact des changements de 20 %, intervenus dans les émissions anthropiques d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), de composés organiques volatils (COV), d'oxyde de carbone (CO), de dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) et de particules primaires dans une région, sur l'ozone troposphérique dans les autres régions varie de 0,07 à 0,37 ppbv d'ozone en moyenne sur une année, à l'échelle régionale, comme le prévoit la moyenne de l'ensemble des modèles. Ces valeurs sont importantes par comparaison avec la réponse de l'ozone troposphérique à une diminution de 20 % intervenue dans les émissions dans la région elle-même, qui varie de 0,82 à 1,26 ppbv. Les réponses RAIR (mentionnées à l'annexe) indiquent que, dans l'ensemble des quatre régions émettrices/réceptrices, au moins 30 % de l'ensemble des changements de concentration dans chacune des régions sont liés aux changements intervenus dans les trois autres régions. Les réponses RAIR sont plus fortes pour la colonne d'ozone que pour l'ozone troposphérique, et la réponse RAIR pour la colonne dépasse 50 % en Europe et en Asie orientale.

9. En moyenne sur une année, à l'échelle régionale, la plus forte relation source/récepteur est celle qui décrit l'impact des émissions nord-américaines sur l'ozone troposphérique européen. Suit celle qui décrit l'impact des émissions européennes sur l'ozone troposphérique d'Asie méridionale et d'Asie orientale. L'impact moyen annuel des émissions d'Asie orientale sur l'ozone troposphérique nord-américain est semblable à celui des émissions nord-américaines sur l'ozone troposphérique d'Asie orientale, mais avec des pointes dans des saisons différentes. Les émissions européennes sont celles qui influent le plus sur l'ozone troposphérique arctique, suivies par les émissions nord-américaines.

10. Dans une région, en moyenne sur une année, les concentrations d'ozone sont le plus fortement influencées par les changements intervenus dans les émissions de  $\text{NO}_x$ , de COV, de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de CO, par ordre d'importance décroissant. Les contributions intercontinentales aux concentrations annuelles d'ozone sont toutefois le plus fortement influencées par les changements intervenus dans les émissions de  $\text{CH}_4$ , suivies par les émissions de  $\text{NO}_x$ , de COV et de CO. Il a été démontré que la réduction des émissions anthropiques de  $\text{CH}_4$  dans une région donnée entraîne une diminution à peu près égale du transport intercontinental d'ozone vers d'autres régions ainsi qu'une diminution semblable du pourcentage d'émissions de  $\text{NO}_x$ , de COV et de CO combinées. La réponse de l'ozone aux

changements intervenus dans les émissions de CH<sub>4</sub> exige toutefois plusieurs décennies avant d'être complète, en raison de la durée de vie atmosphérique relativement longue du CH<sub>4</sub>.

11. L'ensemble des simulations multimodèles HTAP appliquées à l'ozone a été comparé aux concentrations d'ozone observées par des réseaux au sol et des sondes (ballons), répartis en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. Pour la plupart des stations au sol et pour les mesures faites au moyen de sondes dans la basse et dans la moyenne troposphère, la moyenne de l'ensemble des modèles permet généralement de mesurer le cycle saisonnier observé pour l'ozone et elle est proche de la concentration moyenne régionale d'ozone troposphérique. La moyenne de l'ensemble des modèles concorde en outre bien avec les valeurs à l'échelle de chacune des régions, qui sont observées au printemps et tard en automne lorsque le transport intercontinental a tendance à être le plus fort. Ce bon résultat nous prouve d'une certaine façon que nous pouvons représenter quantitativement les processus clefs de formation, de transport et d'élimination de l'ozone et de ses précurseurs.

12. Toutefois, des erreurs importantes peuvent affecter la moyenne de l'ensemble des modèles, à savoir la sous-estimation de l'ozone troposphérique aux hautes altitudes, la surestimation des concentrations estivales d'ozone troposphérique au-dessus du Japon et de l'est des États-Unis et les fortes erreurs sur les mesures faites au moyen de sondes dans la haute troposphère et dans les stations polaires.

13. Au cours des expériences multimodèles HTAP, la différence entre les modèles en termes de concentrations d'ozone en réponse à des changements de 20 % intervenus dans les émissions de précurseurs est appréciable tant dans la région émettrice qu'au niveau des récepteurs à distance, l'écart type étant de 20 à 50 % de la réponse moyenne de l'ensemble. Les différences entre les modèles et celles entre les modèles et les observations sont dues aux incertitudes dans les estimations des émissions, aux limites imposées par la résolution spatiale et temporelle des modèles et aux incertitudes dans la représentation des processus de transport, des processus chimiques et des processus d'élimination.

### **C. Effets du transport intercontinental**

14. En termes de dépassement des normes de qualité de l'air ambiant, les plus hautes concentrations d'ozone sont généralement associées à des conditions stagnantes, lorsque la contribution du transport est faible et que la contribution des sources locales et régionales est très importante. Le transport intercontinental a cependant accru les concentrations d'ozone de base au point qu'elles dépassent les seuils de protection de la végétation en de nombreux endroits et dépassent occasionnellement le seuil de protection de la santé en certains endroits. Comme les normes de qualité de l'air, fondées sur la santé publique, deviennent de plus en plus rigoureuses en raison de recherches sur de nouveaux effets sur la santé, la contribution du transport intercontinental au dépassement de ces normes ne cessera d'augmenter.

15. Des études expérimentales faites sur l'homme et sur l'animal ainsi que des études épidémiologiques ont permis de démontrer à maintes reprises que l'exposition à des concentrations d'ozone ambiantes peut avoir des effets nocifs sur la santé, qui peuvent aller d'une banale irritation sensorielle à une mort prématurée. Un nombre relativement faible d'études a été entrepris pour essayer de quantifier les effets sur la santé du transport intercontinental de l'ozone en particulier. Ces études ont principalement porté sur la relation entre les concentrations moyennes annuelles et la mortalité prématurée, et suggèrent que le transport intercontinental pourrait contribuer de façon importante aux effets sur la santé de la pollution atmosphérique dans une région réceptrice donnée. Pour l'ozone, une étude faite à partir des expériences multimodèles HTAP a permis d'estimer que le transport intercontinental de l'ozone contribue, sous réserve d'incertitudes

importantes, pour 20 % à plus de 50 % de la mortalité prématurée des adultes, liée à l'ozone dans une région réceptrice donnée.

16. La somme des effets sur la santé des polluants transportés dans les régions extérieures sous le vent peut dépasser les effets sur la santé des émissions dans la région émettrice elle-même. Bien que l'impact sur les concentrations ambiantes dans les régions sous le vent puisse être bien moindre que dans la région émettrice elle-même, la population totale exposée dans ces régions sous le vent est beaucoup plus forte. Les expériences multimodèles HTAP suggèrent que les réductions des émissions en Amérique du Nord et en Europe pourraient diminuer la mortalité liée à l'ozone en dehors de ces régions émettrices plus que dans les régions elles-mêmes.

17. L'ozone cause des dégâts aux cultures, aux forêts et aux prairies, qui ont des conséquences importantes sur la productivité, la biodiversité et la sécurité alimentaire et peuvent avoir une forte influence sur l'écart entre les rendements agricoles qui existent actuellement dans une grande partie de l'Asie. On évalue que les pertes de rendement à l'échelle mondiale des cultures essentielles, dues à l'exposition à l'ozone, sont comprises entre 3 et 16 %, selon la culture, et portent sur un montant compris entre 14 et 26 milliards de dollars des États-Unis d'Amérique par an. Selon les expériences multimodèles HTAP, le transport intercontinental peut être responsable, sous réserve d'importantes incertitudes, de 5 à 35 % des pertes de rendement des cultures, selon l'emplacement, la culture et la fonction de réponse employés.

18. La contribution de l'ozone au forçage climatique est importante, sous une forme directe, comme gaz à effet de serre, et, sous une forme indirecte, en causant des dégâts à la végétation et en l'empêchant d'absorber naturellement du CO<sub>2</sub>. Parmi les précurseurs de l'ozone, la réduction à grande échelle des émissions de CH<sub>4</sub>, de CO et de COV permettent de mieux réduire le forçage climatique net dans le temps que la réduction des NO<sub>x</sub>, qui entraîne une augmentation de la durée de vie du CH<sub>4</sub> et en conséquence augmente le forçage climatique à l'échelle de la décennie. La réduction des émissions de CH<sub>4</sub>, qui est lui-même un gaz à effet de serre, conduira à des réductions du forçage direct par le CH<sub>4</sub> et au forçage direct et indirect de l'ozone, affectant la vitesse du changement climatique dans les décennies à venir.

## **D. Scénarios futurs pour les émissions et le climat**

19. L'importance du transport intercontinental peut varier à l'avenir en raison des changements dans l'ampleur et dans la répartition spatiale des émissions anthropiques. On a étudié les conséquences des changements intervenus dans les émissions anthropiques lors des expériences multimodèles HTAP, en examinant un ensemble de scénarios d'émission à l'échelle mondiale, mis au point en vue d'étayer le cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), connu sous le nom de «Voies de concentration représentatives» (PCR). Dans trois des quatre scénarios, on suppose que des mesures d'atténuation du changement climatique seront prises, tandis que dans tous les scénarios, on suppose que l'application des mesures de lutte contre la pollution atmosphérique sera renforcée à mesure que s'accélère le développement et qu'augmentent les revenus. On a ainsi obtenu, dans les quatre scénarios, que d'ici à 2050 les émissions à l'échelle mondiale de NO<sub>x</sub>, de COV et de CO devraient diminuer. Toutefois, la répartition régionale des émissions dans l'hémisphère Nord devrait être modifiée, les diminutions en Europe et en Amérique du Nord étant plus fortes et plus précoces, et celles en Asie méridionale et orientale plus superficielles, quand il ne s'agit pas d'augmentations.

20. On a étudié les effets de cette redistribution des futures émissions et des changements prévus par les PCR dans les concentrations futures de CH<sub>4</sub> à l'échelle

mondiale en employant des approximations linéaires des sensibilités source-récepteur intercontinentales déterminées par les expériences multimodèles HTAP dans les conditions actuelles. Afin d'illustrer l'ordre de grandeur des futurs niveaux de pollution atmosphérique, nous évaluons les réponses RAIR (données en annexe) pour 2050 dans le scénario où les émissions sont les plus faibles et pour 2030, lorsque les émissions à l'échelle mondiale seront maximales, dans le scénario où les émissions sont les plus fortes. Pour les concentrations d'ozone troposphérique en Amérique du Nord, les estimations indiquent que la réponse RAIR augmente jusqu'à environ 50 %, dans les scénarios tant à fortes qu'à faibles émissions, suggérant qu'à l'avenir, les changements intervenant dans les émissions de précurseurs d'ozone en dehors de la région pourraient être aussi importants que les changements intervenant dans la région. Pour l'Europe, la réponse RAIR pour l'ozone troposphérique augmente relativement peu dans les scénarios à fortes ou à faibles émissions, en raison de la diminution simultanée des émissions de polluants atmosphériques en Amérique du Nord. Pour l'Asie orientale, la réponse RAIR diminue dans un scénario à fortes émissions pour lequel les émissions dans la région augmentent, et augmente dans un scénario à faibles émissions pour lequel les émissions dans la région diminuent. Pour l'Asie méridionale, la réponse RAIR pour l'ozone troposphérique diminue dans les scénarios tant à fortes qu'à faibles émissions. Il convient de noter que la sensibilité aux changements dans la répartition géographique des émissions dans une région donnée n'a pas encore été évaluée comme il convient.

21. En employant les approximations linéaires des expériences multimodèles HTAP, on peut différencier l'effet du changement des concentrations de CH<sub>4</sub> de l'effet des changements intervenant dans le transport intercontinental et dans les émissions locales et régionales, en tenant compte des tendances passées et des scénarios à venir concernant les émissions. Dans le cadre des scénarios futurs, les augmentations escomptées des concentrations de CH<sub>4</sub> ont une grande influence sur les changements intervenant dans les émissions d'ozone troposphérique, compensant dans certains cas les diminutions importantes de la formation d'ozone associée aux émissions locales et régionales.

22. Les expériences multimodèles HTAP ont aussi permis d'examiner les effets potentiels sur l'ozone troposphérique des changements météorologiques et des changements dans la structure des transports, escomptés en raison du changement climatique. On prévoit que les changements climatiques futurs augmentent les effets des émissions de précurseurs sur les régions émettrices et réduisent les effets sur les régions réceptrices sous le vent. Toutefois, l'impact de ces changements sur le transport à longue distance est relativement faible et provient des changements intervenus dans les processus chimiques atmosphériques et non des changements dans la structure des transports. Les effets des changements intervenant dans les émissions naturelles et la rétroaction climatique à plus grande échelle n'ont pas encore été complètement évalués.

## **IV. Principales conclusions sur les particules**

### **A. Données d'observation**

23. Les données les plus tangibles sur le transport intercontinental sont fournies par les images, prises par les satellites, de panaches de particules traversant les océans et les continents, souvent associés à la combustion de la biomasse ou aux poussières soufflées par le vent. Ces dernières années, les satellites ont commencé à livrer des informations quantitatives sur le transport intercontinental des particules, notamment des estimations sur la quantité de polluants transportés, sur l'altitude du transport et, dans certains cas, sur les propriétés des aérosols. Des réseaux au sol de détection à distance et des stations de mesure au sommet des montagnes en Europe, en Amérique du Nord et en Asie fournissent en



continu de grandes quantités de données qui permettent de déterminer la fréquence des transports de particules, les conditions météorologiques qui sont à l'origine des transports et les principales propriétés des aérosols. Des informations sur le transport intercontinental sont aussi fournies par les tendances observées au niveau de la troposphère dans les îles lointaines, qui dans certains cas sont comparables aux tendances observées pour les émissions dans les zones au vent. Des effets importants du transport des particules à longue distance sur la qualité de l'air et sur l'environnement ont été observés, en particulier dans les effluents des continents asiatique et africain et dans la région arctique.

## **B. Modélisation aux échelles mondiale et régionale**

24. Les particules comportent différents composants chimiques, dont certains sont directement émis sous la forme de particules par les sources naturelles ou anthropiques (particules primaires) tandis que d'autres proviennent de gaz qui subissent des réactions chimiques et physiques et sont absorbés sur des particules (particules secondaires). Tant les particules primaires que secondaires jouent un rôle dans le transport intercontinental. Théoriquement, les composants de particules peuvent être répartis en composants d'origine naturelle (notamment les éruptions volcaniques, les océans, les poussières au sol soufflées par le vent), composants provenant de la combustion à l'air libre de la biomasse (d'origine tant naturelle qu'anthropique), composants provenant des émissions anthropiques, qui ont été transportés à l'échelle intercontinentale, et composants provenant de sources d'émissions anthropiques locales et régionales.

25. Les expériences multimodèles HTAP suggèrent que, dans les quatre régions étudiées, les poussières soufflées par le vent provenant des déserts en Afrique, en Asie et au Moyen-Orient, sont à l'origine de 60 à plus de 90 % des concentrations moyennes annuelles régionales au sol de particules. Le transport intercontinental des émissions anthropiques est responsable, quant à lui, de 15 à 50 % des concentrations moyennes annuelles régionales au sol de particules provenant de sources autres que les déserts.

26. Comme pour l'ozone, les statistiques moyennes annuelles régionales masquent des variations marquées entre les saisons, à l'intérieur d'une région donnée, et entre les modèles. Les cycles saisonniers de la concentration des particules et du transport intercontinental varient suivant le composant chimique et la région. Mais les différences entre les cycles saisonniers des concentrations au sol, qui sont prévus par les modèles utilisés dans les expériences multimodèles HTAP, sont importantes. Les différences entre les modèles sont plus fortes pour les poussières soufflées par le vent que pour le sulfate, le noir de carbone et les particules organiques, et sont aussi plus fortes pour la région arctique que pour les régions de moyenne latitude. Les différences entre les modèles sont dues aux importantes incertitudes qui existent dans la modélisation des processus d'émission et aux processus atmosphériques. Malgré les grandes différences que présentent les estimations des concentrations absolues, l'accord entre les modèles est meilleur en termes d'attribution aux sources, à l'échelle d'une moyenne annuelle régionale.

27. Comme mentionné à l'annexe, l'estimation des réponses RAIR dans les expériences multimodèles HTAP indique que la diminution du transport intercontinental représenterait entre 5 et 20 % de la diminution des concentrations moyennes annuelles régionales au sol de particules, résultant de la réduction des émissions anthropiques de 20 % dans chacune des quatre régions étudiées. L'effet du transport intercontinental est plus grand pour la profondeur optique des aérosols (AOD) (de 17 à 25 % pour les composants des poussières ne provenant pas du sol) et la charge totale pour la colonne (de 24 à 37 % pour le sulfate), ce qui montre l'importance du transport au-dessus de la couche limite et implique une incidence toujours plus importante sur les forçages visible et radiatif.

28. Les concentrations ou les dépôts au sol des particules dans la région arctique sont les plus sensibles aux changements intervenus dans les émissions en Europe. Toutefois, les charges totales pour la colonne des particules dans la région arctique sont également sensibles aux changements intervenus dans les émissions en Europe ou en Asie, parce que les émissions asiatiques ont une plus forte tendance à s'élever et à être transportées en altitude que les émissions européennes.

29. Les concentrations au sol de particules réagissent de façon linéaire aux changements intervenus dans les émissions des régions émettrices tant locales qu'au vent. Cependant, le sulfate et une certaine partie des particules organiques ne sont pas émis directement, mais sont formés dans l'atmosphère par oxydation et peuvent être affectés par des systèmes non linéaires de réactions chimiques. Les changements intervenus dans le transport intercontinental de l'ozone et de ses précurseurs peuvent ainsi affecter les concentrations sous le vent des particules, ce qui souligne les effets multiples de la croissance du niveau de pollution de fond dans l'hémisphère Nord sur les niveaux de pollution locale.

30. Les restrictions et les sources d'incertitude rencontrées lors de l'estimation des concentrations de l'ozone concernent aussi dans une large mesure les modèles actuels pour les particules, même s'il existe aussi d'autres problèmes. Dans les expériences multimodèles HTAP, les concentrations prévues varient du simple au double pour les concentrations au sol du sulfate dans les régions continentales de moyenne latitude, tandis que les prévisions des modèles diffèrent d'un facteur quatre pour les concentrations au sol du noir de carbone et des particules organiques et d'un facteur sept pour les concentrations au niveau du sol des poussières. Pour la région arctique, où les niveaux de particules sont très bas, la dispersion relative des concentrations estimées dans les modèles est beaucoup plus grande. Une comparaison détaillée entre les modèles employés au cours des estimations multimodèles HTAP fait apparaître une différence d'un facteur quatre entre les valeurs de la durée de vie atmosphérique du sulfate calculées dans les différents modèles.

31. Une comparaison détaillée des estimations multimodèles HTAP avec les observations pour les particules n'a pas été faite. Les données d'observation disponibles devant étayer de telles évaluations sont actuellement recueillies et quelques comparaisons ont été faites pour les dépôts de sulfate par voie humide.

### **C. Effets du transport intercontinental**

32. Le transport intercontinental des poussières soufflées par le vent peut conduire au dépassement des normes de qualité de l'air ambiant et, à l'ouest de l'Amérique du Nord, il est susceptible d'empêcher que les objectifs de visibilité ne soient atteints. Le transport intercontinental des composants des particules autres que les poussières au sol soufflées par le vent n'est habituellement pas suffisant pour que soient dépassées les normes environnementales liées à la santé. Il n'existe toutefois aucun seuil en ce qui concerne les effets nocifs pour la santé d'une exposition aux particules.

33. Les expériences multimodèles HTAP indiquent que le transport intercontinental des particules a des effets sur la mortalité humaine qui sont comparables à ceux de l'ozone. Même si le transport de l'ozone entre les régions se fait plus facilement, la relation entre les particules et la mortalité est plus forte. En conséquence, les estimations de la mortalité due aux particules dans chacune des régions émettrices sont beaucoup plus élevées et les contributions à la mortalité dans une région donnée des trois régions extérieures varient de 3 à 5 %. Parmi la totalité des morts associées aux émissions en Amérique du Nord et en Europe, on estime que 15 et 12 %, respectivement, de ces morts se produisent à l'extérieur de ces régions émettrices.

34. Les dépôts de particules endommagent aussi les divers écosystèmes, notamment les forêts et les prairies, en raison de l'acidification. De même, l'eutrophisation nuit à la biodiversité des écosystèmes sensibles dont l'état nutritionnel est mauvais. Mais les particules peuvent être bénéfiques aux écosystèmes en augmentant la diffusion du rayonnement solaire. La contribution du transport à longue distance à ces effets est toutefois très incertaine et peut être relativement petite.

35. Les particules contribuent de manière importante au forçage climatique. Le transport intercontinental influe sur la répartition des particules et donc sur l'étendue et l'ampleur du forçage. Les particules contiennent un mélange de composants, qui pour l'essentiel refroidissent, tels que le sulfate et les aérosols organiques, et du noir de carbone qui réchauffe. On a estimé que les émissions anthropiques du noir de carbone, du CH<sub>4</sub>, du CO et des COV ont causé depuis environ 1750 un forçage climatique aussi important que celui dû aux émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>. La diminution des émissions de particules améliorerait la qualité de l'air, mais pour les aérosols de refroidissement, notamment le sulfate, le nitrate et les particules organiques, cela accroîtrait le réchauffement. Des réductions du noir de carbone amélioreraient généralement tant la qualité de l'air que le climat.

36. La région arctique subit un rapide changement climatique. Son climat est affecté par l'ozone et les particules en provenance d'autres régions, ainsi que par le forçage climatique dû à l'ozone et aux particules à l'extérieur de la région arctique. Les dépôts du noir de carbone sur la neige sont considérés comme étant responsables d'un important forçage positif (réchauffement) dans la région arctique.

## **D. Scénarios futurs pour les émissions et le climat**

37. Comme pour l'ozone, on a étudié l'impact des changements futurs intervenant dans les émissions sur le transport intercontinental de particules en examinant les scénarios PCR jusqu'en 2050. Dans tous les scénarios, on suppose que des mesures de lutte contre la pollution atmosphérique seront prises à mesure que s'accélère le développement et qu'augmentent les revenus. On prévoit que, d'ici à 2050, les émissions anthropiques à l'échelle mondiale de SO<sub>2</sub> auront diminué de 30 à 70 %. Les émissions européennes et nord-américaines devraient diminuer de plus en plus par rapport à leurs niveaux actuels. Les émissions d'Asie orientale devraient continuer à croître pendant un certain temps avant de diminuer de façon spectaculaire d'ici à 2050. Concernant les émissions du noir de carbone, les émissions à l'échelle mondiale devraient diminuer de 15 à 50 % d'ici à 2050, avec des diminutions brutales en Asie orientale, qui est actuellement responsable de la majeure partie des émissions de noir de carbone. Donc, aussi bien l'ampleur que la composition du transport intercontinental de particules sont susceptibles de changer à l'avenir.

38. On prévoit que le changement climatique aura un impact sur les concentrations de particules, en raison des changements de température, d'humidité, de régime de précipitation et de processus chimiques et dynamiques atmosphériques, ainsi que des changements intervenant dans les émissions provenant des poussières souflées par le vent, des incendies de forêt naturels et des hydrocarbures naturels. L'impact global de ces changements sur le transport intercontinental de particules n'a pas encore été complètement évalué.

## V. Principales conclusions sur le mercure

39. Le mercure diffère des autres polluants atmosphériques importants (par exemple, l'ozone et les particules) avant tout par le fait que ses effets sur l'environnement et la santé ne sont pas directement liés à la charge atmosphérique du mercure. Tandis que la principale voie de redistribution du mercure est le transport atmosphérique, ses effets sur l'environnement et la santé se font surtout sentir dans les milieux aquatiques et auprès des organismes aquatiques et de leurs consommateurs. Le mercure atmosphérique inorganique qui passe dans les milieux aquatiques par l'intermédiaire de mécanismes de dépôts secs et humides est transformé en méthylmercure (MeHg) par les microbes dans l'eau et les sédiments des zones humides, des lacs, des réservoirs, des rivières, des estuaires et des océans. Contrairement aux autres formes du mercure, le méthylmercure est susceptible de bioamplification dans les réseaux alimentaires aquatiques. La consommation de poisson ou d'autres organismes aquatiques, dont les concentrations en méthylmercure sont élevées, est la principale voie d'exposition pour les hommes et la faune sauvage d'eau douce et d'eau de mer, consommateurs de poissons.

40. Le mercure est émis dans l'atmosphère sous la forme de  $\text{Hg}^0$  élémentaire à l'état gazeux ou/et sous la forme de l'ion  $\text{Hg}^{2+}$  à l'état gazeux ou/et lié à des particules en suspension. L'élément  $\text{Hg}^0$ , qui a une durée moyenne de vie atmosphérique de six mois à un an, domine la charge atmosphérique et est généralement la forme qui permet de transporter le mercure sur de longues distances. L'ion mercure, quant à lui, disparaît rapidement de l'atmosphère en raison du processus de formation de dépôts secs et d'élimination par voie humide. Afin de pouvoir remonter aux sources d'émissions à partir des dépôts et des effets qui en résultent, le mercure déposé peut être ventilé en mercure provenant à l'origine de sources naturelles, en mercure hérité provenant à l'origine de sources anthropiques, qui a été déposé et ensuite réémis, en mercure nouvellement émis par des sources anthropiques, essentiellement sous la forme de l'élément  $\text{Hg}^0$  et transporté à des échelles intercontinentales, et en mercure nouvellement émis par des sources anthropiques locales et régionales, essentiellement sous la forme de Hg ionique et rapidement déposé aux niveaux local et régional.

### A. Données d'observation

41. La longue durée de vie atmosphérique de l'élément  $\text{Hg}^0$  conduit à des concentrations de base de 1,5 à 1,7  $\text{ng m}^{-3}$   $\text{Hg}^0$  dans l'hémisphère Nord et à 1,1 à 1,3  $\text{ng m}^{-3}$   $\text{Hg}^0$  dans l'hémisphère Sud (au niveau de la mer). Ce gradient entre les deux hémisphères a été systématiquement observé par les navires et est reproduit dans les modèles à l'échelle du monde actuels. Le transport intercontinental du mercure a été confirmé par la mesure occasionnelle de concentrations élevées de l'élément  $\text{Hg}^0$  dans des stations lointaines au sommet des montagnes et au cours de campagnes de mesure en avion. Les changements à long terme intervenus dans la charge atmosphérique du mercure ont été déduits de l'analyse chimique des sédiments dans les lacs, des carottes glaciaires et des dépôts de tourbe, et ont été observés dans des échantillons d'air prélevés dans des névés, suggérant que les dépôts de mercure ont augmenté de près de trois fois depuis les temps préindustriels. La tendance à la diminution des dépôts qui est observée en Europe et en Amérique du Nord est conforme aux réductions amplement démontrées des émissions à l'échelle régionale. Toutefois, la tendance des concentrations et des dépôts à l'échelle mondiale n'est pas claire et peut indiquer un décalage, entre la tendance des émissions en Asie et dans d'autres parties du monde, et l'important recyclage du mercure parmi les éléments environnementaux.

## B. Modélisation aux échelles mondiale et régionale

42. Selon les expériences multimodèles HTAP, le mercure naturel et réémis représente suivant la région environ 35 à 70 % de l'ensemble des dépôts de mercure, en moyenne sur une année, à l'échelle régionale, tandis que le transport intercontinental des émissions anthropiques nouvellement émises de mercure représente environ 10 à 30 % de l'ensemble des dépôts de mercure, en moyenne sur une année, à l'échelle mondiale. L'Asie orientale, qui représentait en 2000 près de 40 % de l'ensemble des nouvelles émissions de mercure à l'échelle du monde, est la région parmi les quatre régions HTAP émettrices où les dépôts sont les plus importants et représentent de 10 à 14 % des dépôts annuels de mercure observés dans les autres régions. Suivent les contributions de l'Europe, de l'Asie méridionale et de l'Amérique du Nord. Toutefois, lorsque les dépôts sont les plus importants, les sources d'émissions anthropiques régionales sont les principales sources de dépôt de mercure.

43. La région arctique ne contenant pas de sources d'émissions anthropiques, le mercure qui y est déposé provient du transport intercontinental. Une grande partie du mercure transporté est déposée au printemps, au cours d'épisodes d'appauvrissement en mercure de l'atmosphère accompagnant le lever de soleil polaire, pendant lesquels l'élément  $\text{Hg}^0$  est rapidement oxydé par les réactants photochimiques qui se sont accumulés en hiver au cours de la nuit polaire.

44. Les modèles à l'échelle mondiale pour le mercure, qui sont employés dans les expériences multimodèles HTAP, permettent d'obtenir des évaluations relativement cohérentes de l'impact d'une région émettrice sur une autre région, malgré les différences importantes pour ce qui est des émissions et des processus chimiques dans les différents modèles. La réponse RAIR (voir l'annexe) pour l'Asie orientale est faible, suggérant qu'en ce qui concerne les niveaux des dépôts la réduction des émissions dans cette région est bien plus importante que ne le sont les changements intervenant dans le transport intercontinental vers cette région. Pour l'Europe et l'Asie méridionale, les réponses RAIR sont de 35 et 43 %, respectivement, suggérant que le transport intercontinental contribue de façon importante aux dépôts dans cette région. Pour l'Amérique du Nord, la réponse RAIR est supérieure à 50 %, suggérant que la réduction des émissions en Asie orientale, en Europe et en Asie méridionale a permis de diminuer plus les dépôts à l'échelle régionale que la réduction des émissions en Amérique du Nord elle-même. Dans la région arctique, on pourrait réduire efficacement les dépôts de mercure en réduisant les émissions en Asie orientale et en Europe, compte tenu de la proximité de ces régions avec la région arctique, des courants atmosphériques, et de la contribution importante de ces régions aux émissions anthropiques à l'échelle mondiale.

45. Les modèles actuels à l'échelle mondiale pour le mercure atmosphérique reproduisent pour près de 20 % des rares observations disponibles les concentrations de l'élément  $\text{Hg}^0$  observées au sol. L'accord entre les modèles et les observations pour les dépôts de mercure par voie humide est plus faible, les différences entre les valeurs observées et les valeurs prédites par les modèles pouvant atteindre 100 %, en raison principalement des incertitudes dans le taux d'émission du mercure, les processus chimiques d'oxydation du mercure et les taux de précipitation estimés.

## C. Effets du transport intercontinental

46. Afin de mieux évaluer les principaux effets qu'aura la réduction des émissions au niveau international sur l'exposition au méthylmercure à l'échelle intercontinentale, il faut comprendre la chaîne globale de l'exposition des populations, notamment les liens entre le transport atmosphérique et le transport océanique du mercure, la transformation en

méthylmercure dans les écosystèmes d'eau de mer et d'eau douce, l'exposition au méthylmercure et sa bioamplification dans les poissons d'eau douce et d'eau de mer, le commerce international de poisson et les régimes de consommation des poissons. Ces liens sont peu quantifiés à l'heure actuelle.

#### **D. Scénarios futurs pour les émissions et le climat**

47. Des études récentes ont permis d'établir des projections d'émissions mondiales pour les émissions anthropiques de mercure dans les années 2020 et 2050. Ces deux études ont permis de conclure que les augmentations importantes d'émissions mondiales de mercure pourraient atteindre 25 % en 2020 et 100 % en 2050 par rapport à 2005, si aucun changement majeur n'intervenait dans la réduction des émissions. Il y est encore indiqué que l'application des techniques connues de lutte contre les émissions pourrait stabiliser le niveau des émissions mondiales de mercure ou l'abaisser. Les relations source-récepteur à l'échelle intercontinentale dans ces futurs scénarios ne sont pas très différentes des relations source-récepteur estimées pour les émissions actuelles. La forte contribution du mercure émis par les écosystèmes aquatiques et terrestres (sources naturelles primaires auxquelles s'ajoutent les réémissions du mercure déposé précédemment) au dépôt atmosphérique global atténue la réponse relative du dépôt de mercure aux changements intervenant dans les nouvelles émissions anthropiques, en renforçant l'avantage à long terme que présente la réduction de la quantité de mercure recyclé dans l'environnement résultant d'une diminution à l'échelle mondiale des émissions de mercure.

48. Les effets du changement climatique sur le transport intercontinental du mercure n'ont pas encore été abordés dans les expériences multimodèles HTAP, et de fortes incertitudes subsistent quant à la question de savoir comment le changement climatique affectera les émissions naturelles et recyclées de mercure, ainsi que les processus chimiques et les processus de transport atmosphériques du mercure. Les effets du changement climatique sur les températures, la fréquence des incendies de forêt, la croissance et la décomposition de la végétation influenceront fortement sur l'échange terre-atmosphère du mercure. De même, l'échange océan-atmosphère du mercure sera affecté par les changements de température, la vitesse des vents et la fréquence des tempêtes, ainsi que par les changements intervenant dans la concentration atmosphérique des oxydants et des aérosols. L'effet net de ces changements n'a toutefois pas encore été étudié comme il conviendrait.

### **VI. Principales conclusions sur les polluants organiques persistants**

49. Par définition, les POP ont une longue durée de vie dans l'environnement, passant souvent d'un milieu environnemental à un autre (à savoir, l'air, l'eau, le sol, la végétation, la neige et la glace). Donc, que ce soit par l'intermédiaire d'émissions directes et de transport ou par l'intermédiaire de cycles répétés d'émission, de transport, de dépôts et de réémission, les POP peuvent aboutir dans un environnement éloigné de leur source d'émissions. Le potentiel global et les mécanismes dominants pour le transport atmosphérique intercontinental varient d'un POP à l'autre, leurs caractéristiques chimiques étant très largement différentes.

## A. Données d'observation

50. Des données sur le transport intercontinental ont été obtenues au cours d'observations dans des endroits éloignés des sources d'émissions et à des niveaux élevés dans les panaches, qui sont observés dans des stations de haute altitude en montagne et au cours de campagnes de mesure en avion. Les concentrations des POP sont souvent liées à d'autres polluants anthropiques. Les programmes de surveillance atmosphérique existants assurent une couverture spatiale appropriée et fournissent des informations sur les concentrations atmosphériques de la plupart des POP dans la région de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE). Mais, les programmes de surveillance, où sont analysés les POP en précipitation et donc estimés les dépôts totaux, sont peu nombreux. Certains programmes, de longue durée, de surveillance de la qualité de l'air permettent d'observer des tendances à la diminution des concentrations de certains POP soumis à la limitation des émissions à l'échelle internationale (par exemple, l'hexachlorocyclohexane ou HCH technique). Pour d'autres POP (par exemple, le p,p'-dichlorodiphényltrichloroéthane ou p,p'-DDT), la tendance observée dans les stations arctiques d'Alert et de Pallas indique une diminution lente ou faible des concentrations atmosphériques en réponse à la limitation des émissions à l'échelle internationale.

## B. Modélisation aux échelles mondiale et régionale

51. Les sources d'émissions de la plupart des POP ne sont pas naturelles, de sorte que les concentrations ou les dépôts de POP observés peuvent être ventilés en POP réémis qui proviennent à l'origine de sources anthropiques, en POP nouvellement émis par des sources anthropiques et transportés à des échelles intercontinentales, et en POP nouvellement émis par des sources anthropiques locales et régionales. L'importance relative de chacune de ces fractions varie en fonction du composé concerné et de l'emplacement du récepteur par rapport aux sources. Remonter aux sources d'origine des POP réémis exige l'évaluation des émissions passées et la simulation du comportement des POP dans d'autres milieux environnementaux sur de longues périodes. Lorsque les émissions primaires diminuent ou cessent à la suite des mesures de réduction des émissions, la réémission devient quant à elle de plus en plus importante.

52. Dans le cadre des expériences multimodèles HTAP, on a simulé le transport de plusieurs POP (polychlorobiphényle-28 ou PCB-28, PCB-153, PCB-180 et  $\alpha$ -PCB) qui avaient des propriétés physiques et chimiques variées. On a employé trois modèles utilisant des approches différentes pour décrire le transport des polluants à travers les milieux environnementaux et ayant des résolutions spatiales différentes. Malgré leurs différences, ces modèles fournissent des estimations des concentrations atmosphériques moyennes annuelles, mais aussi les principales voies de transport des POP choisis et la réponse aux changements intervenus dans les émissions primaires, qui peut différer d'un facteur deux ou trois de la moyenne de l'ensemble.

53. Les différences observées dans les estimations des réponses RAIR pour les POP, présentées à l'annexe, sont essentiellement dues à la répartition spatiale des émissions, qui diffère d'une région à l'autre, et aux caractéristiques de transport du polluant. L'impact le plus fort sur le transport intercontinental est celui qui découle de la réduction de 20 % des nouvelles émissions de  $\alpha$ -HCH en Asie méridionale, conduisant à une diminution comprise entre 2 et 6 % des concentrations dans les autres régions. Les diminutions des émissions de PCB en Europe produisent des niveaux de réponse semblables dans les autres régions. La réponse la plus faible dans les autres régions est celle qui résulte de la réduction des émissions de  $\alpha$ -HCH en Asie orientale et en Amérique du Nord et de la réduction des

émissions de PCB en Asie orientale, en raison de leur faible contribution aux émissions de ces polluants à l'échelle mondiale.

54. La pollution dans la région arctique est le plus sensible aux changements intervenus dans les émissions en Europe (pour tous les POP simulés); viennent ensuite ceux qui sont intervenus en Amérique du Nord (pour les PCB) et en Asie méridionale (pour les  $\alpha$ -HCH).

55. On a étudié les différences régionales, pour ce qui est du transport atmosphérique des POP seulement, en simulant le transport des POP choisis et en supposant des émissions de masse égale dans chacune des régions émettrices. Contrairement aux résultats obtenus pour des émissions différentes suivant les régions, les émissions uniformes ont produit le même niveau de réponse aux changements des émissions pour tous les couples région émettrice/région réceptrice.

56. Les niveaux de détail varient grandement dans les modèles actuels pour les POP. Des simulations pour un sous-ensemble de POP ont été effectuées. Elles reproduisent généralement les concentrations annuelles observées à un facteur trois ou quatre près et permettent habituellement l'identification des principales voies de transport. Les POP pour lesquels la modélisation et les évaluations ont été réussies sont notamment le PCB-28, le PCB-153, le PCB-180 et le  $\alpha$ -HCH. Dans certains cas toutefois, les différences entre les estimations des modèles et les valeurs observées peuvent être beaucoup plus grandes, révélant des incertitudes fondamentales tant au niveau de l'inventaire des émissions qu'à celui des modèles.

57. Comme pour le mercure, les modèles pour les POP doivent non seulement permettre de simuler le comportement des polluants dans l'atmosphère, mais aussi l'échange entre l'atmosphère et d'autres milieux environnementaux (tels que l'eau, le sol, la neige, la glace et la végétation) et le transport et les transformations qui se produisent dans ces autres milieux. Les données d'observation provenant des études sur les échanges entre les milieux, le transport et les transformations sont limitées, rendant difficiles l'évaluation des modèles et la caractérisation des incertitudes.

### C. Effets du transport intercontinental

58. Comme le mercure, les POP sont présents à grande échelle grâce au transport intercontinental, mais leur incidence sur l'environnement se fait avant tout par la contamination des réseaux alimentaires. Par l'intermédiaire de processus de bioconcentration, de bioaccumulation et de bioamplification, les personnes et les autres animaux peuvent être exposés à des concentrations de POP bien supérieures à celles qui sont observées dans l'air, dans l'eau ou dans le sol. On dispose de peu d'informations sur les tendances à long terme des POP dans l'alimentation ou dans les milieux humains, en dehors de l'Europe occidentale, de l'Amérique du Nord et du Japon, et il est donc difficile de caractériser les effets des POP à l'échelle mondiale. Le régime alimentaire traditionnel des peuples arctiques autochtones, qui consiste principalement en produits de la pêche et de la chasse locales, combinés aux transports atmosphérique et océanique des POP dans la région arctique et à l'accumulation dans les réseaux alimentaires arctiques, font que les populations arctiques autochtones sont fortement exposées aux POP. Des études ont montré que ces populations sont fortement exposées aux PCB et elles ont permis d'estimer que les expositions au toxaphène, au chlordane, au DDT, au HCH, aux dioxines et à d'autres POP semblables aux dioxines peuvent dépasser les seuils de dangerosité pour la santé. En outre, les nouveaux POP font l'objet d'inquiétudes parce qu'ils sont actuellement commercialisés et commencent seulement à être mentionnés dans les accords internationaux, notamment le pentabromodiphényléther (PBDE), les sulfonates de perfluorooctane (SPFO) et l'acide perfluorooctanoïque (APFO) qui ont été détectés dans les milieux arctiques, dans certains



cas en quantités croissantes. Les risques d'une exposition chronique à ces produits chimiques ne sont pas encore bien définis.

## **D. Scénarios futurs pour les émissions et le climat**

59. Au cours des quarante années à venir, les émissions de certains POP ne cesseront de diminuer, tandis que la structure des transports intercontinentaux sera modifiée, en raison des règlements nationaux et internationaux. Pour les POP dont l'utilisation a été interdite ou strictement limitée, des modifications peuvent être observées lorsque la réémission de la pollution héritée conduit à la migration ou la dispersion des polluants. Pour les POP qui sont toujours employés dans la chimie ou ceux qui sont émis accidentellement lors de la combustion ou d'autres processus industriels, les différences dans les règlements ou l'activité économique peuvent conduire à des modifications dans la répartition spatiale des émissions. En Europe et en Amérique du Nord, la mise en œuvre complète du Protocole relatif aux polluants organiques persistants à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance et de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants devrait conduire à une diminution des émissions de plus de 90 % pour l'hexachlorobenzène (HCB) et les PCB, de plus de 60 % pour les polychlorodibenzodioxines et les polychlorodibenzofuranes (PCDD/F) et de 30 à 50 % pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

60. Pour les POP qui sont encore commercialisés et doivent à présent faire l'objet de règlements nationaux et internationaux, les flux intercontinentaux devraient augmenter puisque les émissions qui se poursuivent contribuent à la masse de polluants qui circule dans l'environnement.

61. Le changement climatique peut encore modifier de nombreuses façons l'ampleur des émissions et la structure du transport intercontinental des POP. Comme pour le mercure, le changement climatique peut fortement modifier l'échange des POP entre l'atmosphère et l'eau, le sol, la végétation, les sédiments, la neige et la glace. Certains faits indiquent que les phénomènes de changement climatiques, tels que l'élévation des températures et la diminution de la banquise, ainsi que les phénomènes dus aux changements climatiques extrêmes, tels que les incendies de forêt, les inondations et la fonte des glaces, remettront en circulation les POP précédemment déposés dans des puits, tels que les sols et la végétation des forêts, les sédiments des océans et des lacs et les glaciers. Le changement climatique peut aussi modifier l'exposition des personnes et des populations et leur vulnérabilité en cas d'exposition aux produits chimiques. Notre compréhension de l'influence de ces processus est toutefois limitée par le manque de mesures et d'une surveillance organisée des POP dans les milieux autres que l'air.

## **VII. Principales recommandations**

62. Notre compréhension actuelle de l'ampleur des flux intercontinentaux de pollution atmosphérique est suffisante pour conclure a) que ces flux ont un impact important sur la qualité de l'environnement dans l'ensemble de l'hémisphère Nord, et b) que des actions internationales coordonnées en vue d'atténuer ces flux seraient grandement bénéfiques tant pour l'environnement que pour la santé publique. Toutefois, notre capacité actuelle est limitée, s'agissant de quantifier précisément et exactement la contribution des flux intercontinentaux aux concentrations ou aux dépôts de pollution atmosphérique en un endroit donné ou les effets des réductions des émissions à l'échelle internationale sur les niveaux de pollution et leur impact sur l'environnement et sur la santé publique.

63. Afin de mieux quantifier les effets des flux intercontinentaux de pollution atmosphérique et les effets des réductions des émissions à l'échelle internationale, il convient de fournir des efforts supplémentaires en vue d'améliorer encore la couverture et la résolution de nos systèmes d'observation, la précision et la résolution de nos inventaires et projections d'émissions, la fidélité et l'efficacité des modèles que nous utilisons pour décrire les processus chimiques et les processus de transport, et l'étendue et le détail de nos évaluations des effets.

64. En outre, nous devons ajuster l'objectif de nos activités scientifiques et passer de la simple acquisition de connaissances à une recherche orientée vers l'action. Il convient d'établir un programme d'activité de surveillance, de recherche et d'analyse qui soit:

a) Délibéré, avec l'attribution de sources d'émissions à l'échelle mondiale et intercontinentale comme objectif explicite des efforts fournis à présent et à l'avenir, notamment des efforts:

i) Pour maintenir et développer des systèmes d'observation à long terme afin de surveiller les tendances dans le transport intercontinental, dans les concentrations et les caractéristiques de la pollution atmosphérique au-dessus de la couche limite, et dans la contamination des autres milieux environnementaux;

ii) Pour mener des études intensives sur le terrain afin d'améliorer la modélisation des processus de transport, de quantifier les flux de polluants entre milieux environnementaux (y compris la réémission dans l'atmosphère) et d'évaluer les inventaires d'émissions;

b) Innovant, en employant de nouvelles techniques et en mettant au point de nouvelles méthodes là où le besoin s'en fait sentir, avec notamment des efforts:

i) Pour quantifier le transport grâce à l'observation des empreintes chimiques ou isotopiques;

ii) Pour mettre au point de nouvelles méthodes de mesure des dépôts secs, des flux réémis et de la composition des produits de réaction (par exemple, pour l'oxydation du mercure);

iii) Pour déterminer les propriétés pertinentes et les interactions avec l'environnement des nouveaux produits chimiques et leur aptitude au transport intercontinental;

iv) Pour comparer les estimations des émissions aux observations ambiantes à l'aide d'une modélisation inverse;

v) Pour employer des techniques de modélisation adjointes ou d'autres techniques avancées permettant de comprendre les relations source-récepteur actuelles et à venir;

c) Intégré, en conduisant à une meilleure compréhension par la combinaison et la comparaison des informations au sein de chaque discipline et dans l'ensemble des disciplines, ainsi que dans l'ensemble des différents polluants, avec notamment des efforts:

i) Pour améliorer notre compréhension du transport environnemental et du devenir des polluants atmosphériques en regroupant les informations provenant des émissions, des observations et des modèles pour les divers polluants;

ii) Pour établir côte à côte des stations de surveillance des divers polluants, des différents milieux environnementaux et de l'exposition des populations et de la faune sauvage;

iii) Pour étendre les cadres de modélisation et d'analyse de manière à inclure le devenir des polluants atmosphériques dans d'autres milieux environnementaux, les échanges entre les milieux environnementaux (y compris les processus de réémission) et l'exposition aux polluants transportés ainsi que leurs effets;

d) Ouvert, en impliquant une communauté plus large de scientifiques et de responsables chargés de la gestion de la qualité de l'air dans les pays développés et les pays en développement dans tout l'hémisphère Nord;

e) Appuyé par les organismes et les réseaux d'information, en vue de renforcer et de faciliter la coopération entre les experts à l'intérieur et à l'extérieur des limites des disciplines et des communautés.

65. Alors que nous passons du stade de l'acquisition des connaissances à celui d'une recherche orientée vers l'action collective, il convient d'évaluer encore l'existence et le coût des mesures de réduction des sources d'émissions et de déterminer comment ils varient au sein des régions émettrices continentales et entre elles. Au cours de travaux futurs, les implications des stratégies de réduction par secteur dans les différentes régions devraient être examinées de manière globale, en ce qui concerne leurs effets multiples sur la santé publique, sur les écosystèmes et sur le changement climatique aux échelles locale, régionale et mondiale.

66. L'existence de forums devant permettre de renforcer la coopération internationale en vue d'atténuer les sources d'émissions alimentant le transport intercontinental varie en fonction des polluants concernés. La Convention de Stockholm sur les POP et les négociations récemment ouvertes dans le cadre du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) sur un instrument à l'échelle mondiale qui serait destiné à la lutte contre le mercure, fournissent des forums pour renforcer la coopération à l'échelle mondiale en vue d'atténuer les sources d'émissions de POP et de mercure.

67. Concernant l'ozone et les particules, un tel accord à l'échelle mondiale n'existe pas même si plusieurs accords régionaux, à divers stades de mise au point, traitent de certaines des sources d'émissions d'ozone et de mercure transportés. Diverses démarches ont été proposées, visant à établir une coopération à l'échelle mondiale ou hémisphérique sur l'atténuation de sources d'émissions d'ozone et de particules, notamment l'alliance mondiale des efforts existant au niveau régional sur la base d'infrastructures organisationnelles et de relations intergouvernementales. Une telle alliance ou un tel partenariat interrégional pourrait favoriser l'échange d'informations, le renforcement des capacités et le transfert de technologies entre régions, et grandement faciliter la mise en relation des accords régionaux sur la qualité de l'air avec d'autres accords mondiaux existants, avec des organismes mondiaux et avec la communauté scientifique mondiale. Une telle alliance mondiale des programmes de coopération à l'échelle régionale sur la pollution atmosphérique pourrait contribuer à une meilleure compréhension, partagée à l'échelle mondiale, des problèmes de pollution atmosphérique et à leur solution aux échelles locale, régionale et mondiale, tout en préservant l'autonomie des régions et en leur laissant toute latitude pour mettre au point des politiques et des programmes appropriés, adaptés à leur besoins. Une telle alliance pourrait être créée en tant que nouvelle institution, ou être instaurée dans le cadre d'un organisme mondial existant, tel que le PNUE, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) ou une initiative commune PNUE-OMM, comme dans le cas du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

68. En tant qu'organe subsidiaire de la Convention sur la pollution atmosphérique de la CEE, l'Équipe spéciale peut continuer à jouer un rôle de premier plan en facilitant la rencontre des différentes communautés d'experts et en assurant la liaison entre les différents organismes régionaux et mondiaux. S'agissant de la Convention, la poursuite et

le renforcement de ces efforts est important en vue de réduire l'impact des sources d'émissions non visées par la Convention et d'atteindre les objectifs propres à la Convention. Quel que soit le rôle futur de l'Équipe spéciale, il conviendrait d'examiner la possibilité de créer une alliance mondiale plus officielle des programmes régionaux de coopération sur la pollution atmosphérique transfrontière.

## Annexe

### Réponses intercontinentales annuelles relatives

La réponse intercontinentale annuelle relative (RAIR) est fondée sur les expériences multimodèles HTAP dans lesquelles les émissions sont réduites de 20 % dans chacune des quatre régions, à savoir l'Amérique du Nord, l'Europe, l'Asie méridionale et l'Asie orientale. La mesure RAIR est la somme des changements de la concentration moyenne annuelle régionale dans une région, dus à une diminution de 20 % des émissions dans les trois autres régions, divisée par la somme des changements de la concentration dans une région, dus à une diminution de 20 % des émissions dans l'ensemble des quatre régions. La réponse RAIR mesure donc le bénéfice que peut tirer une région de la réduction des émissions dans les autres régions, ces réductions étant coordonnées à l'échelle intercontinentale.

Scénario	Polluant/Paramètre <sup>a</sup>	Région réceptrice			
		Amérique du Nord	Europe	Asie méridionale	Asie orientale
2001	Concentration d'ozone	32 %	43 %	32 %	40 %
2001	Charge totale pour la colonne d'ozone	39 %	62 %	38 %	60 %
2001	Concentration de particules	7 %	5 %	20 %	9 %
2001	Dépôt de sulfate	8 %	9 %	24 %	12 %
2001	Dépôt de noir de carbone	4 %	1 %	12 %	3 %
2001	Dépôt d'azote réactif	3 %	4 %	13 %	7 %
2001	Profondeur optique des aérosols <sup>b</sup>	17 %	13 %	25 %	17 %
2001	Charge totale pour la colonne de sulfate	25 %	25 %	37 %	24 %
2001	Dépôt de mercure	61 %	35 %	43 %	10 %
2001	Dépôt de $\alpha$ -HCH	82 %	9 %	6 %	63 %
2001	Dépôt de PCB-28	9 %	3 %	48 %	56 %
2001	Dépôt de PCB-153	11 %	2 %	32 %	50 %
2001	Dépôt de PCB-180	11 %	4 %	36 %	56 %
2001 <sup>c</sup>	Concentration d'ozone	32 %	42 %	33 %	40 %
2030 <sup>d</sup>	Concentration d'ozone	53 %	45 %	20 %	30 %
2050 <sup>e</sup>	Concentration d'ozone	49 %	44 %	14 %	41 %

<sup>a</sup> Les concentrations sont mesurées au niveau du sol.

<sup>b</sup> La profondeur optique des aérosols est calculée pour la somme du sulfate, du noir de carbone et des particules organiques. Les poussières au sol n'ont pas été incluses.

<sup>c</sup> Calculée au moyen d'approximations linéaires d'un certain nombre de modèles employés dans les expériences multimodèles HTAP.

<sup>d</sup> Fondée sur les Voies de concentration représentatives 8.5, un scénario à fortes émissions.

<sup>e</sup> Fondée sur les Voies de concentration représentatives 2.6, un scénario à faibles émissions.