



**Conseil économique
et social**

Distr.
GÉNÉRALE

EB.AIR/WG.1/2003/11
17 juin 2003

FRANÇAIS
Original: ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

ORGANE EXÉCUTIF DE LA CONVENTION SUR
LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE
TRANSFRONTIÈRE À DISTANCE

Groupe de travail des effets
(Vingt-deuxième session, Genève, 3-5 septembre 2003)
Point 4 g) de l'ordre du jour provisoire

MODÉLISATION ET ÉVALUATION DES INCIDENCES DES MATIÈRES
PARTICULAIRES ET DE L'OZONE SUR LA SANTÉ

Rapport de synthèse présenté par l'Équipe spéciale mixte des aspects sanitaires de la pollution
atmosphérique du Centre européen de l'environnement et de la santé
de l'Organisation mondiale de la santé et de l'Organe exécutif

I. INTRODUCTION

1. À sa vingtième session, l'Organe exécutif de la Convention a invité l'Équipe spéciale des aspects sanitaires de la pollution atmosphérique à examiner et à évaluer les effets sur la santé de la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance et à présenter au Groupe de travail des effets en 2003 un rapport sur l'évaluation des risques que peuvent présenter les matières particulaires (MP) et l'ozone pour la santé.

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.

2. L'Équipe spéciale des aspects sanitaires de la pollution atmosphérique a tenu sa sixième réunion les 22 et 23 mai 2003 à Bonn (Allemagne). Y ont participé 21 experts de 12 Parties à la Convention, du Bureau de Bonn du Centre européen de l'environnement et de la santé de l'OMS (CEES-OMS), de la Commission européenne, de l'Agence européenne de l'environnement (AEE), du Centre de synthèse météorologique-Ouest de l'EMEP (CSM-O), du Centre pour les modèles d'évaluation intégrée (CMEI) et de l'Organisation européenne des compagnies pétrolières pour l'environnement, la santé et la sécurité (CONCAWE).

3. Les principaux objectifs de la réunion étaient les suivants:

a) Examiner, sur la base des nouvelles connaissances et, en particulier, des résultats du récent projet de l'OMS «Examen systématique des aspects sanitaires de la pollution atmosphérique en Europe», les méthodes d'évaluation de l'impact de l'ozone et des matières particulaires de la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance sur la santé qui pourraient être utilisées lors de l'examen prochain du Protocole de Göteborg;

b) Formuler des recommandations sur le processus d'évaluation de l'impact sur la santé et sur ses composantes.

4. M. J. Schneider (OMS) a présenté un résumé des résultats du projet «Examen systématique des aspects sanitaires de la pollution atmosphérique en Europe», mis en œuvre par le Bureau de Bonn du CEES-OMS pour appuyer le programme «Air pur pour l'Europe» (CAFE) de la Commission européenne (<http://europa.eu.int/comm/environnement/air/cafe/index.htm>). Ce projet concluait l'évaluation des risques présentés par les matières particulaires, l'ozone et le dioxyde d'azote conduite en mars 2003. Les résultats ont été examinés de manière approfondie par les experts de l'OMS et présentés lors d'une réunion du Groupe de pilotage du programme CAFE. Le texte intégral du document de l'OMS présentant les résultats de l'évaluation est consultable à l'adresse suivante: <http://www.euro.who.int/document/e79097.pdf>.

5. M. A. Zuber (Commission européenne) a indiqué que le secrétariat du CAFE avait préparé des questions supplémentaires qui ont été traitées par l'OMS dans le cadre du projet d'examen systématique.

6. L'examen du Bureau de Bonn du CEES-OMS a confirmé que l'exposition aux matières particulaires fines et à l'ozone aux concentrations couramment rencontrées en Europe présentait des risques pour la santé. Le transport à longue distance de ces polluants contribuait de manière significative à l'exposition de la population aux polluants et à leurs effets sur la santé.

7. L'Équipe spéciale a pris note du rapport et a souligné l'importance de ses résultats pour le travail entrepris dans le cadre de la Convention et du programme CAFE. Elle a décidé qu'un résumé des principaux résultats de l'évaluation des risques serait transmis dans les plus brefs délais au Groupe de travail des effets et à l'Organe exécutif. Elle a donc décidé d'annexer le «Résumé de l'examen de l'OMS» au présent rapport, qui résume les débats de la sixième réunion de l'Équipe spéciale et ses conclusions et recommandations. Ce résumé, présenté sous la forme de questions-réponses, fournit des informations concises sur l'état des connaissances en ce qui concerne les effets sur la santé des matières particulaires, de l'ozone et du dioxyde d'azote.

II. MATIÈRES PARTICULAIRES

8. M. M. Amann (CMEI) a présenté un document de travail consacré à une méthode permettant d'inclure la mortalité liée aux matières particulaires dans le modèle d'évaluation intégrée RAINS. Ce document comprenait un certain nombre de postulats clefs qui ont été examinés en détail par l'Équipe spéciale. L'Équipe s'est fondée sur les conclusions de l'examen entrepris récemment par le CEES-OMS pour: i) partir de l'hypothèse d'une relation de cause à effet entre l'exposition aux matières particulaires et la mortalité; ii) utiliser la moyenne annuelle de $MP_{2.5}$ ($MP < 2,5 \mu m$) comme indicateur de la mortalité liée aux matières particulaires. L'Équipe spéciale a noté que certaines données laissaient à penser que les différents composants qui contribuaient à la masse des $MP_{2.5}$ pourraient ne pas être aussi dangereux les uns que les autres. En particulier, la discussion a porté sur le rôle des aérosols inorganiques secondaires (y compris les nitrates et les sulfates). Il a été conclu que faute de données toxicologiques convaincantes sur les différents composants des MP entrant en jeu dans un mélange complexe, il n'était pas possible à ce stade de quantifier l'importance relative des principaux composants des MP s'agissant des effets sur la santé.

9. Pour l'évaluation de l'exposition, le modèle RAINS se fonderait sur des estimations des concentrations de MP et des informations relatives au lieu de résidence de la population. À l'échelle régionale, les estimations des MP utilisées par le modèle RAINS étaient basées sur les résultats du modèle de dispersion atmosphérique unifié de l'EMEP (<http://www.emep.int>) qui indiquait les concentrations de MP sur une résolution de 50 km sur 50 km. Les estimations des concentrations de fond en zone urbaine et l'exposition humaine en résultant seraient estimées sur la base des résultats du projet City Delta (<http://rea.ei.jrc.it/netshare/thunis/citydelta>). Il a été noté qu'à l'heure actuelle le modèle unifié de l'EMEP sous-estimait les concentrations de MP observées, notamment parce que les poussières minérales et les aérosols organiques secondaires n'étaient pas encore pris en compte par le modèle. L'Équipe spéciale a souligné qu'il importait d'inclure les aérosols organiques secondaires dans la modélisation atmosphérique. Elle a salué le nouveau projet de stratégie de surveillance des MP de l'EMEP et rappelé que les études de santé pourraient s'appuyer sur des données plus détaillées sur les MP et leur composition. L'Équipe spéciale a aussi reconnu que l'incertitude globale des estimations relatives à l'exposition (y compris les incertitudes stochastiques) serait à prendre en compte dans l'analyse générale d'incertitude de l'évaluation des effets sur la santé.

10. L'Équipe spéciale a approuvé la décision visant à appliquer un coefficient de risque relatif à toutes les causes de mortalité estimées pour le niveau moyen d'exposition dans l'étude de cohorte élargie de l'American Cancer Society (ACS) telle que décrite par Pope et consorts (2002)¹. Elle a estimé que cette option était plus appropriée que la prise en compte des estimations spécifiques aux teneurs en MP dans la période initiale ou finale du suivi de l'étude de l'ACS, car il apparaissait que pour certains indicateurs d'effet, comme la mortalité cardiopulmonaire, les expositions récentes étaient utiles alors que pour d'autres, comme le cancer du poumon, on pouvait supposer que les deux périodes d'exposition étaient importantes. Certains participants ont fait remarquer que ce choix pouvait avoir pour conséquence de sous-estimer les effets, car la population des cohortes suivies avait un niveau d'instruction supérieur à

¹ Pope C.A. et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal American Medical Association*, 2002; 287:1132-1141.

la moyenne des États-Unis, alors que le risque était supérieur pour les personnes moins instruites. En outre, il a également été noté que l'estimation du risque relatif dans l'étude de l'ACS était inférieure à celle d'une autre étude de cohorte (la Six City Study). Le CMEI a été invité à mener une analyse de sensibilité en utilisant le coefficient de risque relatif correspondant au niveau d'exposition initial indiqué par Pope et consorts.

11. L'Équipe spéciale a conclu qu'il convenait d'extrapoler la fonction concentration-réaction de manière linéaire pour des concentrations supérieures à celles constatées pour la population témoin. Elle a postulé que ce choix n'aurait pas d'effet significatif sur l'analyse de scénario car les concentrations de $MP_{2.5}$ dans les zones de pollution de fond urbaine ne devraient dépasser les concentrations maximales de l'étude de l'ACS que dans quelques villes à partir de 2010. Le CMEI a été invité à mener une analyse de sensibilité sur la base d'une relation log-linéaire concentration-réaction.

12. Pour l'analyse des différents scénarios de réduction des émissions, l'Équipe spéciale a recommandé de n'utiliser que la contribution anthropique à la masse de $MP_{2.5}$. Pour cette contribution, elle a postulé qu'il n'y a pas de niveau où aucun effet n'est observé. L'Équipe spéciale est aussi convenue que la diminution de l'espérance de vie et le nombre total d'années de vie perdues étaient des indicateurs d'effet utiles à l'analyse de scénario.

13. Le coefficient de risque relatif était appliqué uniquement à la population de plus de 30 ans, ce qui signifiait également que les effets totaux sur la santé étaient quelque peu sous-estimés, puisque l'effet possible de la pollution sur la mortalité infantile n'avait pas été pris en compte dans le calcul.

14. L'Équipe spéciale a aussi remarqué que l'approche adoptée, si elle permettait d'inclure les effets des MP sur la santé dans le cadre d'une évaluation intégrée, ne permettait pas une quantification globale de tous les effets liés à l'exposition aux MP. Parmi les effets importants non couverts à l'heure actuelle, mais qui devraient être pris en compte dans toute analyse coût-avantages, figuraient les effets sur la mortalité et la morbidité infantiles.

15. Le Bureau de Bonn du CEES-OMS a été invité à établir, en collaboration étroite avec le CMEI, une note résumant le raisonnement qui a conduit aux choix évoqués, en se fondant sur les discussions de l'Équipe spéciale. Le CMEI a aussi été prié d'évaluer la solidité des hypothèses clefs et les incertitudes sous-jacentes et de rendre compte des résultats de cette analyse à l'Équipe spéciale à sa réunion suivante.

16. L'Équipe spéciale a noté avec préoccupation que le sixième Programme-cadre de recherche de l'Union européenne n'offrait que des possibilités limitées de financement d'études sur plusieurs villes qui permettraient d'approfondir l'analyse de certains aspects des effets sanitaires de la pollution atmosphérique et éventuellement de réduire l'incertitude. Il était également nécessaire d'entreprendre de nouvelles études d'exposition humaine.

III. OZONE

17. L'Équipe spéciale a noté que le concept d'AOT60 utilisé précédemment dans le cadre du modèle RAINS pourrait ne plus être adapté pour rendre compte des effets de l'ozone sur la santé, compte tenu des résultats de l'étude publiée par le Bureau de Bonn du CEES-OMS et résumée en

annexe. En particulier, cette étude avait conclu que des effets pourraient être notés à des niveaux inférieurs à 60 ppb, qui est le seuil actuellement utilisé pour calculer l'AOT60, et que le seuil éventuel, proche du niveau de fond, serait impossible à déterminer. Elle a aussi indiqué que les effets de l'ozone sur la mortalité et certains aspects de la morbidité étaient indépendants des effets des MP.

18. L'Équipe spéciale a invité le CMEI à proposer une méthodologie permettant d'inclure les effets de l'ozone sur la mortalité dans les modèles d'évaluation intégrée. Une telle méthodologie devrait:

a) Permettre le calcul des décès imputables à l'ozone, sur la base des renseignements tirés de la méta-analyse d'études de séries chronologiques. M. R. Anderson (Royaume-Uni) a informé l'Équipe spéciale qu'une telle méta-analyse était en cours au St. George's Hospital, à Londres, dans le cadre du projet d'examen systématique du CEES-OMS. Il a expliqué que la méta-analyse reposerait sur une large base de données d'études de séries chronologiques constamment mise à jour par l'hôpital;

b) Fonder l'évaluation sur l'exposition des populations urbaines à des concentrations de fond en milieu urbain (moyenne des valeurs maximales sur huit heures par jour). Ces concentrations seraient aussi fournies par le modèle unifié de l'EMEP et les résultats du projet City Delta;

c) S'appuyer sur des hypothèses clefs robustes. En particulier, le CMEI a été prié d'étudier l'influence des concentrations hémisphériques de fond de l'ozone sur l'approche choisie;

d) Inclure dans l'analyse de sensibilité l'étude des conséquences de la limitation à l'été de l'analyse d'impact en utilisant les coefficients de risque relatif propres à cette saison;

e) Être présentée à la prochaine réunion de l'Équipe spéciale.

19. Le CMEI a également été invité à présenter à titre indicatif des comparaisons des décès imputables à une exposition à court terme à l'ozone et aux MP et des décès imputables à une exposition à long terme aux MP. L'estimation du nombre de décès imputable à une exposition à court terme à la fois à l'ozone et aux MP devrait se fonder sur la méta-analyse susmentionnée des études de séries chronologiques conduites par le St. George's Hospital de Londres.

IV. MORBIDITÉ

20. Les méthodologies sur lesquelles reposaient le modèle RAINS actuel et les autres évaluations régionales ou mondiales des effets sur la santé ne se prêtaient pas à une prise en compte des effets sur la morbidité, et ce pour diverses raisons, au nombre desquelles le manque de données sur les taux de référence, les différences entre les taux de référence, les différences et le manque d'uniformité des rapports relatifs aux effets sur la santé, etc. Il était toutefois important d'inclure les indicateurs de morbidité dans les évaluations de l'impact sur la santé pour pouvoir estimer la contribution des concentrations aux effets sur la santé (nombre de cas imputables) ainsi qu'à la charge de morbidité totale et aux coûts et avantages de la réduction de la pollution.

21. M. L. van Bree (Pays-Bas) a informé l'Équipe spéciale d'une proposition visant à mettre en place une méthodologie progressive et harmonisée d'inclusion des indicateurs de morbidité dans les évaluations de l'impact sanitaire. Il a exposé les difficultés décrites ci-dessus et suggéré de lancer une étude de faisabilité reposant sur des données spécifiques (par exemple tirées d'études menées aux Pays-Bas). L'Équipe spéciale a pris note des travaux et conclu qu'il était prématuré d'inclure expressément la morbidité en tant que produit dans le modèle RAINS. Elle a invité M. L. van Bree à lui faire rapport sur l'avancement de l'étude de faisabilité.

V. RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

22. L'Équipe spéciale a débattu de la nécessité de présenter l'incertitude de l'estimation de l'impact sanitaire et l'évolution possible de la situation sous l'effet d'une exposition moindre de la population à la pollution. Elle a conclu qu'il était essentiel de préserver la clarté de la présentation et des résultats concrets de la modélisation. Toutefois, il était important que l'analyse comprenne une évaluation de la sensibilité de la méthodologie employée aux hypothèses retenues. Il convenait de démontrer l'impact des hypothèses clefs retenues dans l'analyse des conséquences sanitaires sur les stratégies proposées de réduction de la pollution. Il a été recommandé de mettre au point une approche formelle de l'analyse des incertitudes dans le cadre de l'évaluation globale des conséquences sanitaires. Une telle approche devrait être élaborée par le CMEI en collaboration étroite avec le Bureau de Bonn du CEES-OMS.

VI. PLAN DE TRAVAIL

23. La prochaine réunion de l'Équipe spéciale se tiendrait au début de 2004 à Bonn (Allemagne). Les participants y examineraient les résultats préliminaires obtenus à l'aide du modèle RAINS en vue d'évaluer les effets sur la santé des MP et de l'ozone et formuleraient des observations finales sur certaines hypothèses et sur l'approche adoptée.

24. L'Équipe spéciale a invité le Bureau de Bonn du CEES-OMS à proposer un plan de travail plus détaillé pour 2004 et au-delà. Parmi les questions qui pourraient être examinées dans le cadre d'une évaluation approfondie, on peut citer le potentiel cancérigène de certains polluants atmosphériques, le travail sur les risques de santé liés à certaines sources (comme la circulation), une réévaluation de l'importance des différentes fractions de MP, l'impact possible sur les changements climatiques et les relations éventuelles avec ces changements et le gain sanitaire associé à la réduction (antérieure) des émissions.

Annexe²**ASPECTS SANITAIRES DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE DUE AUX MATIÈRES PARTICULAIRES, À L'OZONE ET AU DIOXYDE D'AZOTE**Résumé de l'examen de l'OMS

(<http://www.euro.who.int/document/e79097.pdf>)

En 2001, l'OMS a convenu avec la Commission européenne de fournir au Programme «Air pur pour l'Europe» (CAFE) de la Direction générale de l'environnement de la Commission européenne un examen systématique, périodique et scientifiquement indépendant des aspects sanitaires de la qualité de l'air en Europe. Le groupe de pilotage du CAFE, qui conseille la Direction générale de l'environnement sur les orientations stratégiques du Programme, a formulé des questions spécifiques à l'intention de l'OMS et a été d'avis que l'examen devrait porter sur les matières particulaires (MP), le dioxyde d'azote (NO₂) et l'ozone (O₃). Ces questions ont été transmises à l'OMS puis restructurées de manière à offrir une approche harmonisée de l'examen des trois polluants.

L'élaboration des réponses aux questions a mobilisé une cinquantaine d'experts d'Europe et d'Amérique du Nord, qui ont élaboré et examiné les projets successifs. Le texte final des réponses a été adopté lors d'une réunion d'un groupe de travail de l'OMS, tenue du 13 au 15 janvier 2003 à Bonn (Allemagne). Le Groupe de travail a rédigé en outre une explication pour chaque réponse, fournissant les références principales et justifiant les décisions prises par les participants sur la base des données scientifiques disponibles. Le présent résumé donne le texte intégral des réponses uniquement. Les explications, tout comme les autres informations fournies au cours du processus d'examen, figurent dans le document de l'OMS intitulé «Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide», OMS/Euro, 2003 (<http://www.euro.who.int/document/e79097.pdf>).

I. MATIÈRES PARTICULAIRES (MP)

1) Existe-t-il de nouvelles données scientifiques justifiant la révision des directives actuelles de l'OMS concernant ce polluant?

Les directives actuelles de l'OMS sur la qualité de l'air présentent des relations exposition-réaction décrivant le rapport entre les concentrations ambiantes de MP et différents indicateurs d'effet sur la santé. Aucune valeur spécifique n'a été proposée car on a estimé qu'il était impossible de définir un seuil en-dessous duquel aucun effet nocif pour la santé n'était constaté. Ces dernières années, de nombreuses nouvelles données scientifiques ont conforté le lien entre l'exposition aux concentrations ambiantes de MP et la santé (en particulier les effets cardiovasculaires), ce qui justifie la révision des directives actuelles de l'OMS sur la qualité de l'air et des relations exposition-réponse sur lesquelles se fondent ces directives.

² L'annexe est reproduite telle qu'elle a été reçue par le secrétariat.

Les données actuelles montrent que les particules fines (communément identifiées par leur granulométrie, soit $MP_{2,5}$) sont étroitement associées à la mortalité et à d'autres indicateurs d'effet comme l'hospitalisation pour des affections cardiopulmonaires. Il est donc recommandé de développer encore les directives sur la qualité de l'air. La protection de la santé publique voudrait que l'on révisé les directives sur les MP_{10} et que l'on continue de mesurer ces particules. Des données moins nombreuses laissent à penser que les particules grossières (entre $PM_{2,5}$ et PM_{10}) ont également des effets sur la santé. C'est pourquoi des directives distinctes pour les particules grossières pourraient être nécessaires. La valeur de la fumée noire comme indicateur de la pollution atmosphérique liée à la circulation devrait aussi être réévaluée.

2) Quels effets peut-on attendre d'une exposition à long terme aux concentrations de MP observées actuellement en Europe (y compris des effets cliniques et précliniques, sur l'appareil respiratoire par exemple)?

L'exposition à long terme aux concentrations ambiantes actuelles de MP peut entraîner une diminution marquée de l'espérance de vie. Cette baisse tient principalement à une augmentation de la mortalité due aux maladies cardiopulmonaires et au cancer du poumon.

On devrait assister à une augmentation des symptômes respiratoires au niveau de l'appareil inférieur et à une perte de fonction pulmonaire chez les enfants et à une incidence accrue de l'embolie chronique et à une perte de fonction pulmonaire chez les adultes.

3) Y a-t-il un seuil en-dessous duquel les MP ne devraient avoir aucun effet sur la santé?

Les études épidémiologiques portant sur de larges populations n'ont pas révélé de seuil de concentration en deçà duquel les MP n'ont pas d'effet sur la santé. Il est probable que, dans tout large échantillon de population, la sensibilité varie tellement d'une personne à l'autre que certains sujets soient sensibles même aux concentrations les plus faibles.

4) Les effets du polluant dépendent-ils des caractéristiques des sujets telles que l'âge, le sexe, les pathologies sous-jacentes, le tabagisme, l'atopie, le niveau d'instruction, etc.? Quelles sont les caractéristiques déterminantes?

Les études à court terme ont montré que les sujets âgés et les sujets souffrant de maladies du cœur ou des poumons étaient plus sensibles que les autres aux effets des concentrations ambiantes de MP sur la mortalité et la morbidité. Les études par panel ont révélé que les symptômes, l'altération de la fonction pulmonaire et l'augmentation de la médication étaient plus marqués chez les asthmatiques que chez les non-asthmatiques.

Les études à long terme ont montré que la mortalité était plus importante dans les populations socialement défavorisées et peu instruites. Les MP sont aussi liées à une réduction de la croissance pulmonaire chez les enfants.

Aucune différence systématique n'a pu être établie entre hommes et femmes et entre fumeurs et non-fumeurs dans les études de cohorte sur la réaction aux MP.

5) Dans quelle mesure la mortalité est-elle accélérée par l'exposition à long et à court terme au polluant («effet moisson», qui induit un déplacement de la mortalité)?

Les études de cohorte laissent à penser que l'espérance de vie diminue avec l'exposition à long terme aux MP, ce que confirment les nouvelles analyses des études de séries chronologiques qui ont montré que l'âge du décès était avancé d'au moins quelques mois, en raison de facteurs tels que les maladies cardiovasculaires ou les affections pulmonaires chroniques.

6) Le polluant à l'étude est-il en soi responsable d'effets sur la santé?

Les concentrations ambiantes de MP sont considérées en soi responsables des effets sanitaires constatés lors des grandes études épidémiologiques portant sur plusieurs villes qui ont lié les concentrations ambiantes de particules à la mortalité et à la morbidité, comme les études NMMAPS (National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study) et APHEA (Air Pollution and Health: a European Approach). Dans les études de cohorte Six City Study et ACS, les MP ont été associées à la mortalité, mais pas les polluants gazeux, à l'exception du dioxyde de soufre. L'hypothèse selon laquelle les concentrations ambiantes de MP sont en soi responsables d'effets sur la santé est confirmée par les études d'exposition humaine dans des conditions contrôlées et, dans une certaine mesure, par des expériences menées sur des animaux.

7) Quelles sont les caractéristiques physico-chimiques des MP qui sont à l'origine d'effets sur la santé?

Tout laisse à penser que les particules fines ($< 2,5 \mu\text{m}$, $\text{PM}_{2,5}$) sont plus dangereuses que les plus grosses (particules grossières) du point de vue de la mortalité et des points cardiovasculaires et respiratoires extrêmes observés lors des études par panel. Cela ne veut pas dire que la fraction grossière des MP_{10} soit sans danger. Les études toxicologiques et les études d'exposition humaine dans des conditions contrôlées ont montré que plusieurs caractéristiques physiques, biologiques et chimiques des particules provoquaient une réaction cardiopulmonaire. Parmi les caractéristiques qui, d'après ces études, contribuent à la toxicité, on notera la teneur en métaux et la présence de HAP, d'autres composants organiques et d'endotoxines et la coexistence de particules fines ($< 2,5 \mu\text{m}$) et extrêmement fines ($< 100 \text{nm}$).

8) Quels sont les éléments établissant une synergie/interaction entre ce polluant et les autres polluants atmosphériques?

Rares sont les études épidémiologiques qui ont porté sur l'interaction des MP avec d'autres polluants. Les études toxicologiques et les études d'exposition humaine dans des conditions contrôlées ont fait apparaître des effets additifs, voire plus qu'additifs dans certains cas, en particulier pour les mélanges de MP et d'ozone et de MP (particulièrement les particules émises par les moteurs diesel) et d'allergènes. Enfin, les études de la chimie de l'atmosphère révèlent une interaction des MP avec les gaz qui influe sur la composition des particules, et donc sur leur toxicité.

9) Quelle est la relation entre les concentrations ambiantes et l'exposition personnelle au polluant à court et long terme (y compris l'exposition en milieu clos)? Les différences peuvent-elles influencer sur les résultats des études?

Si l'exposition personnelle aux MP et à leurs composants est influencée par les sources intérieures (comme le tabagisme) en plus des sources extérieures, une relation s'établit clairement au fil du temps au niveau de la population entre les concentrations ambiantes de MP et l'exposition personnelle à ces concentrations, en particulier en ce qui concerne les particules fines issues de la combustion. Au niveau de la population, l'exposition personnelle aux concentrations ambiantes de MP «suit» au fil du temps les concentrations ambiantes de MP. Ces dernières peuvent donc raisonnablement être utilisées comme valeur de substitution pour l'exposition personnelle dans les études de séries chronologiques.

La relation entre les concentrations moyennes à long terme de MP et l'exposition personnelle moyenne à long terme a été moins étudiée. La contribution du tabagisme et de la profession à l'exposition personnelle aux MP doit être prise en compte. Cela étant, les données disponibles laissent à penser que les relations imparfaites entre les concentrations ambiantes et l'exposition personnelle aux MP ne remettent pas en cause les résultats des études à long terme.

10) Quelles sources essentielles du polluant (ou, pour les MP, quels composants) sont responsables des effets sur la santé?

Les études épidémiologiques à court terme montrent qu'un certain nombre de types de sources sont associés à des effets sur la santé, en particulier les émissions des véhicules et la combustion du charbon. Ces sources produisent à la fois des particules primaires et secondaires, qui ont été associées à des effets négatifs sur la santé. Une étude de cohorte européenne portant spécifiquement sur la pollution atmosphérique liée à la circulation a mis en évidence l'importance de cette source de MP. Les études toxicologiques ont montré que les particules émises par les moteurs à combustion interne ou résultant de la combustion du charbon, d'huiles résiduelles et du bois ont un fort potentiel inflammatoire. Par comparaison, les poussières issues de la croûte terrestre et portées par le vent semblent être une source moins déterminante du point de vue des effets sur la santé.

11) La réduction des émissions et/ou concentrations ambiantes de ce polluant a-t-elle eu des effets positifs sur la santé publique?

Les effets positifs de la réduction des concentrations ambiantes de MP sur la santé publique ont été démontrés par le passé, après l'introduction d'une législation sur la pureté de l'air. Ces effets ont aussi été mis en évidence plus récemment par un petit nombre d'études. Les résultats des études toxicologiques montrent également qu'un changement qualitatif de la composition des MP pourrait avoir des conséquences importantes pour la réduction des effets négatifs de ces dernières sur la santé.

12) Quelle période moyenne (calendrier) faut-il retenir du point de vue de la protection de la santé?

Des effets ayant été observés pour des expositions tant à court terme qu'à long terme, il est recommandé d'établir des directives à la fois pour le court terme (24 heures) et le long terme (moyenne annuelle).

II. OZONE (O₃)

1) Existe-t-il de nouvelles données scientifiques justifiant la révision des directives actuelles de l'OMS concernant ce polluant?

Les directives actuelles de l'OMS sur la qualité de l'air (2000) donnent pour les concentrations d'ozone une valeur guide de 120 µg/m³ (60 ppb), fondée sur des études d'exposition humaine dans des conditions contrôlées, pour une exposition maximale de huit heures. Elles fournissent aussi deux tableaux concentration-réaction donnant des estimations fondées dans un cas sur les résultats d'études d'exposition humaine dans des conditions contrôlées, et dans l'autre sur les résultats d'études épidémiologiques. Aucune directive n'a été fournie concernant les effets à long terme. Depuis l'adoption de ces directives, on a recueilli suffisamment de données nouvelles pour justifier leur révision. Les questions à revoir sont les suivantes: la durée moyenne prise en compte pour les directives à court terme et les niveaux apparentés, les fonctions concentration-réaction utilisées dans les tableaux, les résultats figurant dans les tableaux concentration-réaction et la possibilité d'adopter des directives sur les effets à long terme et/ou des directives complémentaires (par exemple restreignant l'activité individuelle).

Des études épidémiologiques récentes ont confirmé que l'ozone a des effets à court terme sur la mortalité et la morbidité respiratoire et ont donné de nouvelles informations sur les relations exposition-réaction et la modification des effets. On dispose de nouvelles données épidémiologiques sur les effets à long terme de l'ozone et de données expérimentales sur les lésions pulmonaires et les affections inflammatoires provoquées par l'exposition à l'ozone. On dispose également de nouvelles informations sur la relation qui existe entre les mesures des stations de contrôle fixes des concentrations ambiantes et l'exposition personnelle, qui affecte l'interprétation des résultats épidémiologiques.

2) Quels effets peut-on attendre de l'exposition à long terme à l'ozone aux concentrations observées actuellement en Europe (effets cliniques et précliniques)?

Il existe peu d'études épidémiologiques sur les effets chroniques de l'ozone sur la santé. L'incidence de l'asthme, la perte de fonction pulmonaire, le cancer du poumon et la mortalité totale sont les principaux effets étudiés. Aux niveaux observés à l'heure actuelle en Europe, on ne dispose pas de données homogènes liant l'exposition à l'ozone à l'incidence de l'asthme et à sa prévalence chez les enfants et les adultes. Les données disponibles laissent à penser que l'exposition à long terme à l'ozone altère la croissance de la fonction pulmonaire chez les enfants. On a peu de preuves d'un effet indépendant de l'ozone à long terme sur le cancer du poumon ou la mortalité totale.

Les résultats d'une série d'études d'exposition chronique d'animaux confirment qu'il est plausible que l'exposition prolongée à l'ozone provoque des lésions chroniques du poumon chez l'homme.

3) Y a-t-il un seuil en-dessous duquel aucun effet sur la santé ne devrait être constaté?

Les études épidémiologiques à court terme donnent peu d'indications concernant l'existence d'un seuil au niveau de la population. Il convient de noter que de nombreuses études n'ont pas abordé la question. Les études à long terme sur la fonction pulmonaire n'indiquent pas non plus de seuil. Toutefois, les courbes de concentration-réaction pourraient être différentes selon les individus, car les études par panel et les études d'exposition humaine dans des conditions contrôlées font apparaître des variations considérables de la réaction à l'exposition à l'ozone d'un individu à l'autre. Les études d'exposition dans des conditions contrôlées, qui excluent généralement les sujets particulièrement sensibles, montrent que le seuil pour les lésions et les inflammations pulmonaires se situe à environ 60 à 80 ppb (120-160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour l'exposition à court terme (6,6 heures) avec une activité modérée discontinuée. Les seuils éventuels dépendent du degré d'activité de l'individu.

4) Les effets de l'ozone dépendent-ils des caractéristiques des sujets telles que l'âge, le sexe, les pathologies sous-jacentes, le tabagisme, l'atopie, le niveau d'instruction, etc.?

La réaction à l'exposition à l'ozone varie d'un sujet à l'autre, pour des raisons qui restent largement inexplicables mais semblent en partie liées aux différences génétiques. Certains éléments montrent que les effets à court terme de l'ozone sur la mortalité et l'hospitalisation augmentent avec l'âge. Les différences entre sexes ne sont pas systématiques. Il apparaît que les symptômes dus à l'exposition à l'ozone sont plus importants chez les enfants asthmatiques. La perte de fonction pulmonaire est plus systématique chez les enfants asthmatiques, en particulier ceux présentant une insuffisance pondérale à la naissance.

Le taux de ventilation est un facteur important modifiant l'effet de l'ozone sur la fonction pulmonaire. À mesure que le volume courant augmente, l'ozone pénètre plus profondément dans les poumons. La durée de l'exposition est également un facteur essentiel: les effets de l'ozone s'accumulent pendant plusieurs heures mais après plusieurs jours d'exposition répétée, on constate une adaptation de la réaction fonctionnelle mais pas d'inflammation. Les effets de l'exposition à l'ozone sur la fonction pulmonaire, les symptômes et l'absentéisme scolaire sont plus marqués chez les enfants qui sont plus actifs ou passent plus de temps à l'extérieur.

5) Dans quelle mesure la mortalité est-elle accélérée par l'exposition à long et à court terme à l'ozone («effet moisson»)?

Les effets à long terme de l'ozone ont été étudiés dans le cadre de deux études de cohorte. On dispose de peu d'éléments montrant un effet indépendant à long terme de l'ozone sur la mortalité et aucune diminution importante de l'espérance de vie n'a donc été démontrée. L'«effet moisson», à savoir l'avancement de l'âge du décès de quelques jours seulement, n'a pas été abordé dans les études d'exposition à court terme à l'ozone.

- 6) Le polluant à l'étude est-il en soi responsable d'effets sur la santé?

Les études à court terme sur la fonction pulmonaire, l'inflammation pulmonaire, la perméabilité des poumons, les symptômes respiratoires, l'augmentation de la médication, la morbidité et la mortalité montrent que l'ozone semble avoir des effets indépendants (en particulier en été). Pour les effets à long terme, les résultats ne sont pas complètement homogènes. L'étude de l'acidité des particules a permis d'expliquer en partie les effets de l'ozone. Un petit nombre d'études menées en Amérique du Nord ont démontré les effets de l'ozone sur l'incidence de l'asthme ainsi que sur des changements fonctionnels indépendants d'autres polluants classiques, mais l'acidité n'a pas été prise en compte.

Des études expérimentales montrent que l'ozone peut avoir ces effets sur la santé.

- 7) Quelles sont les caractéristiques physico-chimiques des MP qui sont à l'origine d'effets sur la santé?

Ne s'applique pas à l'ozone.

- 8) Quels sont les éléments établissant une synergie/interaction entre l'ozone et les autres polluants atmosphériques?

Les études épidémiologiques montrent que les effets à court terme de l'ozone peuvent être renforcés par les matières particulaires et inversement. Des données expérimentales obtenues dans le cadre d'études portant sur des concentrations supérieures d'ozone font apparaître des effets synergiques, additifs ou antagonistes, selon l'expérience, mais leur pertinence pour les expositions à la pollution ambiante n'est pas claire. L'ozone pourrait jouer le rôle de déclencheur d'une réaction aux allergènes.

- 9) Quelle est la relation entre les concentrations ambiantes et l'exposition personnelle à l'ozone à court et long terme (y compris l'exposition en milieu clos)? Les différences peuvent-elles influencer sur les résultats des études?

Il n'y a pas de corrélation précise entre les mesures de l'exposition personnelle et les mesures des stations de contrôle fixes des concentrations ambiantes. Pour tenir compte de ce décalage, certaines études font appel à des données supplémentaires (par exemple la structure de l'activité) pour affiner l'estimation de l'exposition personnelle fondée sur les mesures des stations de contrôle fixes. L'ozone étant un gaz très réactif, ses concentrations en milieu clos sont généralement inférieures (moins de 50 %) à celles de l'air ambiant. La plupart des foyers ont très peu de sources internes d'ozone (photocopieuses ou épurateurs d'air électrostatiques, par exemple). Les niveaux d'ozone à l'extérieur varient d'un quartier à l'autre car l'ozone est neutralisé par le monoxyde d'azote. Au petit matin et tard le soir, l'exposition à l'extérieur est moindre en raison du cycle diurne de l'ozone ambiant. Par conséquent, pour l'ozone, l'exposition moyenne à long terme ou journalière cumulée dépend largement de l'exposition à l'extérieur dans l'après-midi. Les erreurs de classification des expositions pourraient conduire à sous-estimer les effets de l'exposition à l'ozone, voire à occulter les effets réels de cette exposition.

10) Quelles sources essentielles du polluant sont responsables des effets sur la santé?

L'ozone est un polluant secondaire issue d'une réaction photochimique en présence de précurseurs. Le Groupe de travail a estimé qu'il n'était pas de sa compétence de fournir une description détaillée de la formation d'ozone et des modes de dispersion.

11) La réduction des émissions et/ou concentrations ambiantes de O₃ a-t-elle eu des effets positifs sur la santé publique?

Les possibilités d'évaluer la réduction de l'ozone en soi sont très rares. Une étude portant sur des migrants à l'intérieur d'un même État a révélé que la fonction pulmonaire des enfants s'installant dans des zones où les concentrations d'ozone et de MP étaient moindres s'améliorait. La diminution des concentrations d'ozone pendant les Jeux olympiques de 1996 s'est accompagnée d'une baisse des hospitalisations pour asthme. L'interprétation de ces résultats n'est pas claire.

12) Quelle période moyenne (calendrier) faut-il retenir du point de vue de la protection de la santé?

S'agissant de l'exposition à court terme, il est clair que les effets augmentent si l'exposition dure plusieurs heures (par exemple, six à huit heures pour les effets sur la fonction respiratoire et l'inflammation pulmonaire). C'est pourquoi une période moyenne de huit heures est préférable à une période d'une heure. La relation entre l'exposition à long terme à l'ozone et les effets sur la santé n'est pas encore suffisamment comprise pour permettre l'élaboration d'une directive pour le long terme.

III. DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

1) Existe-t-il de nouvelles données scientifiques justifiant la révision des directives actuelles de l'OMS concernant le dioxyde d'azote (NO₂)?

Les valeurs guides actuelles de l'OMS sont de 200 µg/m³ pour une heure et une moyenne annuelle de 40 µg/m³. Depuis la précédente révision, seules quelques nouvelles études d'exposition humaine ont été réalisées. Leurs résultats ne vont pas dans le sens d'une révision de la valeur guide pour une heure. S'agissant de la moyenne annuelle, de nouvelles études épidémiologiques ont mis en évidence un lien entre l'exposition à long terme et l'altération de la fonction pulmonaire ou l'apparition de symptômes respiratoires. Le groupe de travail précédent, qui avait proposé la valeur guide annuelle de 40 µg/m³, avait reconnu que «bien qu'aucun ensemble particulier d'études ne conforte clairement le choix d'une valeur numérique spécifique pour la moyenne annuelle, la base de données indique qu'il est nécessaire de protéger le public de l'exposition chronique au dioxyde d'azote». Faute de données, ce groupe avait choisi une valeur tirée d'une étude antérieure de l'OMS. Les nouveaux éléments dont on dispose ne justifient pas un changement de valeur. Étant donné le rôle du NO₂ en tant que précurseur d'autres polluants et en tant que marqueur de la pollution liée à la circulation, le respect des directives actuelles devrait être bénéfique du point de vue de la santé publique. C'est pourquoi le Groupe de travail actuel a estimé que la révision des directives OMS actuelles, tant pour une heure que pour la moyenne annuelle, n'était pas justifiée.

- 2) Quels effets peut-on attendre d'une exposition à long terme aux concentrations de dioxyde d'azote observées actuellement en Europe (effets cliniques et précliniques)?

Les études épidémiologiques montrent que l'exposition à long terme au NO₂ pourrait diminuer la fonction pulmonaire et accroître le risque de symptômes respiratoires.

- 3) Y a-t-il un seuil en-dessous duquel les NO₂ ne devraient avoir aucun effet sur la santé?

Les données dont on dispose ne permettent pas de définir un seuil, que ce soit pour l'exposition à court terme ou pour l'exposition à long terme. Un certain nombre d'études épidémiologiques ont décrit les relations entre les concentrations ambiantes de NO₂ et divers effets sur la santé mais aucune donnée ne permet d'établir un seuil.

- 4) Les effets du dioxyde d'azote dépendent-ils des caractéristiques des sujets telles que l'âge, le sexe, les pathologies sous-jacentes, le tabagisme, l'atopie, le niveau d'instruction, etc.?

En général, les sujets asthmatiques sont en principe plus réactifs que les autres à l'exposition à court terme aux agents inhalés. Aucune étude d'exposition humaine dans des conditions contrôlées n'a été réalisée sur les réactions à court terme des sujets asthmatiques ou non asthmatiques exposés au dioxyde d'azote. Les études épidémiologiques ne permettent pas d'affirmer catégoriquement que les sujets asthmatiques réagissent plus fortement à l'exposition. Des études d'exposition humaine à petite échelle n'ont pas révélé d'effets systématiques de l'exposition au NO₂ sur la réactivité des voies respiratoires chez les sujets asthmatiques, même à des niveaux d'exposition supérieurs aux concentrations ambiantes habituelles. Comme pour les autres polluants, on peut raisonnablement considérer que les enfants sont les plus vulnérables. L'influence des autres facteurs cités sur les effets du NO₂ n'est pas bien établie.

- 5) Dans quelle mesure la mortalité est-elle accélérée par l'exposition à long et à court terme au polluant («effet moisson»)?

Les contraintes méthodologiques rendent difficile l'identification de l'«effet moisson» du seul dioxyde d'azote. Les quelques études à long terme qui ont été réalisées n'ont pas établi de lien entre le NO₂ et la mortalité. Des études de séries chronologiques journalières ont mis en évidence des relations entre le NO₂ et la mortalité mais, compte tenu des données disponibles, ces relations ne peuvent être attribuées avec une certitude raisonnable au seul NO₂.

- 6) Le polluant à l'étude est-il en soi responsable d'effets sur la santé?

Les effets aigus du NO₂ sur la santé ont été mis en évidence par des études d'exposition humaine dans des conditions contrôlées au seul NO₂. Pour les effets observés lors des études épidémiologiques, il est impossible de répondre de façon tranchée à la question. Les effets estimés de l'exposition au NO₂ révélés par ces études pourraient être dus en partie à d'autres polluants liés à la circulation, pour lesquels le NO₂ sert de marqueur. En outre, il existe des relations complexes entre les concentrations de NO₂, de MP et de O₃ dans l'air ambiant.

7) Quelles sont les caractéristiques physico-chimiques des MP qui sont à l'origine d'effets sur la santé?

Ne s'applique pas au dioxyde d'azote.

8) Quels sont les éléments établissant une synergie/interaction entre ce polluant et les autres polluants atmosphériques?

Peu d'études d'exposition humaine dans des conditions contrôlées ont été réalisées sur les interactions avec d'autres polluants chimiques, mais plusieurs études montrent que l'exposition au NO₂ accroît la réaction aux pollens inhalés. Certaines études épidémiologiques ont porté sur les interactions statistiques du NO₂ avec d'autres polluants, y compris les particules, mais leurs résultats sont difficiles à interpréter.

9) Quelle est la relation entre les concentrations ambiantes et l'exposition personnelle au polluant à court et long terme (y compris l'exposition en milieu clos)? Les différences peuvent-elles influencer sur les résultats des études?

Dans tout cadre donné, la réponse dépend des contributions relatives des sources externes et internes et de la structure de l'activité personnelle. Une relation directe entre l'exposition personnelle et les concentrations extérieures apparaît en l'absence d'exposition à des sources internes comme l'absence de ventilation dans la cuisine, l'utilisation d'appareils de chauffage au gaz ou encore le tabagisme. Toutefois, le NO₂ externe étant sujet à d'importantes variations dues à la présence plus ou moins proche de la circulation routière et aux conditions météorologiques locales, la relation entre l'exposition personnelle et les mesures faites par les stations de contrôle extérieures est variable. Les résultats des études épidémiologiques fondées sur les concentrations extérieures de NO₂ peuvent être difficiles à interpréter si l'on ne tient pas compte de l'exposition aux sources internes.

10) Quelles sources essentielles du polluant sont responsables des effets sur la santé?

Dans la plupart des environnements urbains d'Europe, les NO_x émis par les véhicules à moteur de tous types et, dans certains endroits, la production d'énergie, sont la principale source de NO₂.

11) La réduction des émissions et/ou concentrations ambiantes de NO₂ a-t-elle eu des effets positifs sur la santé publique?

Aucune publication récente et reconnue permettant de répondre à cette question n'a été trouvée.

12) Quelle période moyenne (calendrier) faut-il retenir du point de vue de la protection de la santé publique et l'établissement de normes pour plus d'une période moyenne d'exposition au NO₂ autoriserait-il une protection supplémentaire?

En ce qui concerne la protection contre les effets aigus sur la santé, on peut utiliser comme mesure de l'exposition directe à court terme les concentrations moyennes de NO₂ soit aux périodes de pointe soit sur 24 heures (concentrations journalières), car leur corrélation est très forte dans les zones urbaines. La pertinence de directives à plus long terme est confortée par les données disponibles sur les effets directs possibles du NO₂ et sur ses conséquences indirectes dues à la formation de polluants secondaires.
