

**EFFETS DE LA FRACTION GROSSIÈRE  
DES PARTICULES SUR LA SANTÉ  
HUMAINE :  
MISE À JOUR EN APPUI AUX  
STANDARDS PANCANADIENS  
RELATIFS  
AUX PARTICULES ET À L'OZONE**

**PRÉPARÉ POUR LE**

**CONSEIL CANADIEN DES  
MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT**

**MARS 2003**

**VERSION RÉVISÉE**

*La présente publication est un document de travail seulement. Elle contient de l'information préliminaire qui a été préparée à l'intention du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), mais qui n'a pas reçu son approbation. Le CCME s'engage à respecter les normes de recherche et d'analyse les plus élevées qui soient dans ses publications. Comme le CCME ne poursuit aucuns travaux de recherche ni ne signe de rapports, il n'est toutefois pas responsable de l'exactitude des données contenues dans cette publication. Il ne se porte pas garant des opinions qui y sont exprimées, pas plus qu'il ne les partage ou ne les soutient nécessairement.*

## SOMMAIRE

En juin 2000, les ministres de l'Environnement de tout le Canada (sauf le Québec) ont signé les standards pancanadiens (SP) relatifs aux particules (PM) et à l'ozone. L'entente sur les SP reconnaît qu'il existe de l'incertitude et que de nouvelles données et informations seront disponibles au fur et à mesure que des progrès seront accomplis sur le plan de l'information et de l'analyse dans les domaines scientifique, technique et économique. Par conséquent, l'entente sur les SP prévoit une révision des SP selon les modalités énoncées ci-dessous :

- a) d'ici la fin de 2005, réaliser des analyses scientifiques, techniques et économiques supplémentaires pour combler les lacunes et réduire l'incertitude en matière d'information et, si nécessaire, établir, réviser ou renforcer les SP relatifs aux PM et à l'ozone d'ici l'an 2015 et faire rapport aux ministres en 2003 à propos des conclusions scientifiques ayant trait à l'environnement et à la santé, incluant une recommandation sur un SP visant les  $PM_{10-2,5}$ ;
- b) d'ici la fin de 2010, évaluer les besoins et, s'il y a lieu, réviser les SP relatifs aux PM et à l'ozone pour les années cibles ultérieures à l'an 2015.

Le SP relatif aux  $PM_{2,5}$  est fondé sur le rapport d'évaluation scientifique relatif aux particules (RES sur les PM), préparé par le Groupe de travail sur les objectifs et les lignes directrices concernant la qualité de l'air (GTOLDQA) du Comité fédéral-provincial. Le RES sur les PM, publié en 1998, réexamine la pollution atmosphérique attribuable aux PM et ses conséquences possibles sur la santé humaine et l'environnement. Il comprend une évaluation critique des données scientifiques sur les PM et traite des enjeux touchant les sources de PM, les concentrations de PM dans l'atmosphère au Canada, l'exposition personnelle ainsi que les effets sur la santé humaine et l'environnement.

Le présent rapport a été élaboré en appui à la révision des SP et à la recommandation sur le SP relatif aux  $PM_{10-2,5}$ . Il comporte un examen de la fraction grossière des particules et de sa relation avec les effets sur la santé humaine pendant la période visée. Il comporte également un résumé des documents examinés dans le cadre du RES sur les PM.

## Études épidémiologiques

### Mortalité

De nombreuses études menées dans le monde entier ont signalé des associations entre les PM et divers effets sur la santé, notamment la mortalité prématurée. La plupart de ces études étaient axées sur les  $PM_{2,5}$  ou les  $PM_{10}$ .

Le rôle de la fraction grossière est difficile à établir en raison du nombre limité d'études de séries chronologiques qui ont été réalisées sur les particules de cette taille. De plus, les effets sur la santé des particules de différentes tailles peuvent différer d'une région à l'autre en raison de variations concernant l'origine, la composition chimique et le contenu biogénétique des particules. Il est important d'établir une distinction entre les effets sur la santé dus à la fraction fine des particules et ceux attribuables à la fraction grossière, puisque les particules de ces deux fractions peuvent provenir de sources différentes. Les  $PM_{2,5}$  proviennent principalement de sources industrielles et d'activités de combustion, que ce soit directement ou indirectement, alors que les  $PM_{10-2,5}$  ont tendance à provenir en grande partie de la remise en suspension de la matière crustale.

Le présent rapport passe en revue seize études de séries chronologiques portant sur la relation entre les variations quotidiennes observées de la mortalité et une quantité donnée de particules grossières ( $PM_{10-2,5}$  ou  $PM_{10}$  provenant de particules dérivées de la croûte), études qui font appel à des méthodes modernes fondées sur des séries chronologiques. Quatorze de ces études présentent des résultats quantitatifs. Toutes ces études examinent la possibilité d'associations avec la mortalité quotidienne totale; onze d'entre elles étudient l'association avec la mortalité due à des troubles cardiovasculaires et dix fournissent des données concernant la mortalité due à des problèmes respiratoires.

Dans le cas de la mortalité quotidienne totale, douze études signalent la présence d'une association positive, mais cette association n'est statistiquement significative que dans quatre de ces études. Deux études font état d'une association négative ou de l'absence d'association. Dans le cas de la mortalité due à des troubles cardiovasculaires, cinq des onze études mentionnées présentent des résultats positifs et significatifs, alors que quatre mentionnent des associations positives mais non significatives et deux, des associations négatives. Dans le cas de la mortalité due à des problèmes respiratoires, deux des 10 études font état d'associations positives et significatives, cinq présentent des résultats positifs mais non significatifs, et deux, des résultats négatifs.

D'après les travaux antérieurs, il semblerait que la fraction de particules fines ( $PM_{2,5}$ ) des  $PM_{10}$  ait des effets plus marqués que la fraction grossière ( $PM_{10-2,5}$ ). Les analyses récentes sont un peu plus ambiguës, tandis que les résultats de l'association entre la fraction grossière des particules et la mortalité quotidienne manquent de constance. Certains résultats des études indiquent que les particules fines ont des effets plus marqués (Schwartz *et al.*, 1996; Klemm *et al.*, 2000), alors que d'autres ne montrent pas de différences nettes (Burnett *et al.*, 1997).

La plupart des études contiennent des analyses menées sur un seul polluant, mais certaines ont également analysé la relation avec différents taux de mortalité en utilisant des modèles à plusieurs polluants. Dans la plupart des cas, après l'introduction de co-polluants, les associations étaient moins marquées et devenaient non significatives. Seules quelques études ont donné des résultats positifs demeurant significatifs dans le cas des modèles à plusieurs polluants. Comme dans le précédent RES sur les PM, la présente analyse donne des indications équivoques concernant la relation entre la fraction

grossière des  $PM_{10}$  et la mortalité prématurée, comme en témoigne l'analyse de séries chronologiques quotidiennes.

Dans le cas des études sur l'exposition chronique, le nombre restreint de données disponibles sur l'exposition prolongée et la mortalité ne permet pas de soutenir que la fraction grossière des  $PM_{10}$  joue un rôle. D'après plusieurs études, l'exposition prolongée à des particules fines semble être en relation avec divers taux de mortalité, tandis que l'association entre le taux de mortalité et les particules grossières est inexistant ou marginal. Lorsque les deux fractions de taille différente ont fait l'objet d'analyses bidimensionnelles, l'effet marginal des particules grossières était réduit, alors que l'association avec les particules fines demeurait inchangée. Bien que les études soient d'une portée très limitée, il semble qu'il n'y ait que peu ou pas de preuves indiquant que les  $PM$  grossières jouent un rôle dans la mortalité attribuable à une exposition prolongée à la pollution atmosphérique.

Quelques études sont axées sur l'association entre les particules crustales (ou transportées par le vent) et la mortalité. Quelques autres comprennent une évaluation des composantes des particules orientée vers les sources et font appel à une analyse factorielle pour évaluer les émissions quotidiennes d'une source donnée et leur relation avec les taux de mortalité.

La plupart mais non la totalité de ces études donnent à penser qu'il n'y a pas de relation entre les particules crustales et la mortalité quotidienne. Parallèlement, ces études suggèrent que la mortalité est plus généralement associée à divers types de sources anthropiques, notamment la combustion de combustibles fossiles, le brûlage de végétation et certaines sources industrielles.

Dans l'ensemble, ces études n'infirment ni ne confirment de façon définitive l'existence d'une association entre la fraction grossière des  $PM$  et la mortalité prématurée. Si la caractérisation des paramètres de mesure des  $PM$  grossières utilisés dans de nombreuses études comporte certaines restrictions, qui pourraient influencer sur les associations décelées, la majorité de ces études donne à penser que les associations entre les  $PM$  et la mortalité sont plus clairement liées à la fraction fine des  $PM_{10}$ .

### **Études sur l'hospitalisation et les visites à la salle d'urgence**

Pour mesurer l'état de santé, un certain nombre d'études ont examiné la relation entre, d'une part, la pollution atmosphérique par les particules et, d'autre part, les hospitalisations pour des maladies respiratoires ou des problèmes cardiovasculaires. Au moment de l'élaboration du RES sur les  $PM$ , le rôle de la fraction grossière était difficile à cerner parce qu'un nombre restreint d'études de séries chronologiques avaient été menées sur cette fraction précise des particules.

Le présent rapport analyse en détail six études de séries chronologiques publiées après le RES sur les  $PM$ , où la relation entre les variations quotidiennes des  $PM_{10-2,5}$  et les hospitalisations est étudiée à l'aide de méthodes modernes fondées sur les séries chronologiques.

Dans toutes les études examinées aux fins du présent document, les analyses initiales (modèles à un seul polluant) indiquent que la fraction grossière des  $PM_{10}$  aurait une incidence sur le nombre d'hospitalisations. Cette incidence était cependant réduite dans les cas des analyses bidimensionnelles visant à examiner l'effet de co-polluants. Dans la plupart mais non dans la totalité des cas, la présence de la fraction fine a atténué l'influence de la fraction grossière, bien que pas toujours de façon statistiquement significative. Par conséquent, pour de nombreuses causes précises d'hospitalisation (BPCO, infections, effets cardiaques, par ex.), les particules fines (ou gaz) offrent une explication plus satisfaisante des hospitalisations associées à la pollution atmosphérique. Toutefois, dans les cas où les hospitalisations dues à l'asthme ont été examinées séparément, une association positive et significative avec les particules grossières a persisté même après une analyse bidimensionnelles en présence d'autres polluants. Dans toutes les études, les auteurs précisent que leurs résultats corroborent, ou du moins n'éliminent pas, la possibilité que la fraction grossière des particules joue un certain rôle dans les cas d'hospitalisation.

Les relations apparemment solides observées quant aux effets sur les voies respiratoires supérieures seraient compatibles avec la configuration des dépôts de particules grossières. Cependant, cinq des six études examinées aux fins du présent rapport ont été effectuées à l'aide de modèles additifs généralisés (MAG). Récemment, on a découvert que les logiciels de statistique communément utilisés par les chercheurs qui se penchent sur les relations quotidiennes entre les effets néfastes et la pollution atmosphérique introduisent certaines erreurs dans les estimations du risque relatif (RR). D'ici à ce que les études examinées dans le cadre du présent rapport aient été reprises à l'aide d'autres techniques, ce problème touchant les « MAG » entraîne de l'incertitude dans l'interprétation des études visées.

### **Études sur les symptômes respiratoires et la fonction pulmonaire**

Un certain nombre d'études ont examiné l'effet de la pollution atmosphérique par les particules sur la santé respiratoire et/ou sur la fonction pulmonaire. Au moment de l'élaboration du RES sur les PM, le rôle de la fraction grossière était difficile à cerner parce qu'un nombre restreint d'études avaient été menées sur cette fraction précise des particules. Le présent rapport examine en détail six nouvelles études portant sur l'effet des variations à court terme des concentrations de  $PM_{10-2,5}$  sur la santé respiratoire et/ou sur la fonction pulmonaire.

D'après ces études, la fraction fine des particules présente une association beaucoup plus marquée et plus constante avec la réduction de la fonction pulmonaire, mesurée au moyen du DEP (débit expiratoire de pointe), que la fraction grossière, et ce chez divers sujets (femmes en santé, enfants et adultes asthmatiques). De fait, aucune de ces études n'a permis de déceler une association statistiquement significative avec les  $PM_{10-2,5}$ . La constance de cette observation indique que les mesures de la fonction pulmonaire, bien qu'elles puissent être un bon indicateur d'effets dus aux PM fines sur le terrain, ne fournissent peut-être pas un bon modèle pour l'examen des effets potentiels de la fraction grossière.

En revanche, toutes les études portant sur les symptômes respiratoires indiquent que les  $PM_{10-2,5}$  pourraient jouer un rôle dans l'apparition de ces symptômes. Des associations positives et significatives ont été constatées entre la fraction grossière des PM et les symptômes des voies aériennes supérieures ainsi que la toux dans les modèles à un et à deux polluants incluant les  $PM_{2,5}$ . Cependant, selon certaines études individuelles, la fraction fine est également associée à des symptômes respiratoires; les effets dus à chacune des deux fractions ne pouvaient pas être différenciés efficacement dans ces études.

Ces résultats sont compatibles avec ceux obtenus pour les hospitalisations, c.-à-d. une relation plus marquée avec les paramètres liés aux voies aériennes supérieures. Ils sont également compatibles avec les configurations prévues des dépôts de particules grossières. Toutefois, contrairement aux études sur les hospitalisations, ces travaux sur les symptômes ne sont pas dépendants de méthodes fondées sur des MAG.

Le petit ensemble de données sur les effets respiratoires chroniques ne permet pas de comprendre de façon satisfaisante le rôle que joue chaque fraction de particules. Bien que des associations aient été constatées entre ce type d'effets et les mesures de PM, l'interprétation des résultats est limitée en raison soit des corrélations relativement élevées entre les fractions de chaque taille soit de l'incertitude concernant l'exactitude de la mesure de la fraction grossière.

## Études toxicologiques

La toxicité des  $PM_{10-2,5}$  a fait l'objet de peu d'études *in vitro* ou *in vivo*. Quatre nouvelles études portent sur des recherches *in vitro* visant à comparer la capacité des  $PM_{2,5}$  et des  $PM_{10-2,5}$  de provoquer la mort de cellules et la production de cytokine ou des modifications des mécanismes de défense de l'hôte; ces études ont été réalisées sur divers types de cellules (lignée cellulaire de fibroblastes de rongeurs Rat 6, lignée cellulaire de macrophages RAW 264.7, monocytes humains et macrophages alvéolaires humains).

D'après les résultats de certaines de ces études, la fraction grossière pourrait provoquer des effets pro-inflammatoires, parfois plus graves que les effets dus à la fraction des  $PM_{2,5}$ . Cependant, des méthodes d'extraction différentes et d'autres essais *in vitro* ont abouti à des résultats différents quant à la toxicité de la fraction grossière. Compte tenu de la petite taille de l'ensemble de données et de la diversité des approches utilisées dans le cadre de ces études, il n'est pas possible de tirer des conclusions générales, bien que ces études aient démontré dans une certaine mesure que les composantes de la fraction grossière des particules peuvent provoquer des effets toxiques dans les cellules de mammifères. Il convient de noter que les études *in vitro* ne tiennent pas compte du dépôt de particules et de la clairance, mécanismes susceptibles de filtrer et d'éliminer la plupart des particules grossières inhalées; il faudrait donc les interpréter principalement comme des indicateurs de la présence (ou de l'absence) de mécanismes potentiels.

## Études sur l'exposition

Un nombre restreint de travaux portent directement sur la fraction grossière des PM; toutefois, d'après quelques-uns des résultats obtenus, certaines questions pourraient avoir de l'importance dans les enquêtes épidémiologiques portant sur les  $PM_{10-2,5}$ . Par exemple, à partir de la faible corrélation avec d'autres paramètres de mesure des PM, on a constaté que le fait de n'observer aucun effet dans une étude donnée ne peut pas être considéré comme concluant si le paramètre de mesure du polluant n'était pas une mesure directe des particules grossières. Lorsqu'il n'y a pas de données sur des mesures directes, il pourrait être avantageux de mener les études sur l'association entre les paramètres de santé et les particules grossières dans des villes où les particules grossières sont réparties uniformément sur le territoire, où il n'y a pas de forte corrélation entre les particules grossières et les particules fines, ou encore, dans les villes où les particules grossières dominent dans les concentrations de  $PM_{10}$ .

## Caractérisation du risque

Les preuves actuelles concernant les effets des particules grossières sur la santé indiquent que cette fraction des PM pourrait jouer un rôle dans l'apparition et l'expression des effets, particulièrement dans les voies respiratoires supérieures. La principale preuve de ce fait est fournie par les études de la relation entre les mesures de particules à court terme et des symptômes comme la toux, les mucosités, le coryza et des signes d'exacerbation de l'asthme. Ce fait est étayé par des études sur les hospitalisations, qui indiquent que cette fraction joue un rôle dans les hospitalisations dues à des symptômes des voies respiratoires supérieures.

Tant dans les études sur les symptômes que dans celles sur les hospitalisations, la crédibilité de la relation avec les paramètres liés aux voies respiratoires supérieures est augmentée par l'absence de relation avec les paramètres liés aux voies respiratoires inférieures, absence qui a été constatée dans les mêmes études ou des études semblables. La spécificité des paramètres liés aux voies respiratoires supérieures dans les diverses études et entre chaque type d'études confirme la possibilité d'une relation de causalité à la lumière des données sur la configuration des dépôts de PM grossières dans les voies respiratoires.

À première vue, les études sur la mortalité fournissent au mieux une preuve équivoque de l'existence d'une relation avec la fraction grossière des  $PM_{10}$ . Quelques études révèlent une relation potentielle, mais la plupart indiquent que cette relation est grandement atténuée en co-régression avec des mesures de PM fines ou n'est même pas significative dans les modèles à un seul polluant. Dans les études ciblées, certaines tentatives visaient à examiner les effets observés dans des régions ou des situations où la fraction dominante était constituée de particules grossières ou de matière crustale. Ces études ciblées donnent des indications sur des situations particulières, mais elles ne contiennent pas suffisamment de données pour tirer des conclusions définitives. Dans l'ensemble, les



études sur la mortalité examinées dans le cadre du présent rapport ne fournissent pas de preuve concluante qui permettrait d'attribuer un rôle à la fraction grossière des PM.

Un autre enjeu soulevé récemment est celui de l'utilisation répandue des modèles additifs généralisés (MAG) dans les analyses de séries chronologiques portant sur la relation entre les mesures de polluants atmosphériques à court terme et la mortalité prématurée ou les hospitalisations. Il est bien connu que, dans les études de séries chronologiques, les séries portant sur les taux de mortalité quotidienne et d'hospitalisations et les séries portant sur les concentrations quotidiennes de polluants atmosphériques sont soumises à de fortes fluctuations en fonction des saisons, de la période de la saison, du jour de la semaine et des tendances à long terme. Plusieurs approches ont été examinées dans le but d'ajuster les séries chronologiques en fonction de ces variations temporelles. Ces dernières années, les MAG sont devenus une méthode normalisée dans les études de séries chronologiques sur les associations entre la pollution atmosphérique et les effets sur la santé parce que ces modèles permettent des ajustements non paramétriques en fonction des effets de confusion non linéaires dus à des variables liées aux saisons, aux tendances et aux conditions atmosphériques (régressions mobiles pondérées ou LOESS).

Très récemment, on a découvert dans le progiciel S-Plus pour les MAG une erreur logique qui pourrait fausser les résultats des études de séries chronologiques sur la pollution atmosphérique et la santé. En résumé, on a constaté ce qui suit : lorsque les données auxquelles le MAG est appliqué possèdent deux caractéristiques (les estimations des coefficients de régression sont faibles, et il y a présence de facteurs de confusion qui sont modélisés au moyen d'au moins deux fonctions non paramétriques continues), les paramètres par défaut de la fonction MAG du progiciel S-Plus (version 3.4) peuvent fournir des estimations biaisées des coefficients de régression et des erreurs-types.

Dans pratiquement toutes les études sur la mortalité due à la fraction grossière examinées aux fins du présent rapport, les MAG sont la principale méthode statistique utilisée. Étant donné que ces études indiquent une augmentation faible ou nulle du risque associé à la fraction grossière des particules et que l'approche fondée sur les MAG peut probablement donner des estimations biaisées à la hausse concernant le risque relatif (RR), il semble peu probable qu'il y ait une relation avec la mortalité. Cependant, la plupart des nouvelles analyses menées jusqu'à présent en vue de régler le problème lié aux MAG ont porté sur les particules fines; il faudra donc attendre de nouvelles analyses sur la fraction grossière des PM avant de tirer une conclusion à cet égard.

Les études sur les hospitalisations examinées dans le présent rapport sont elles aussi fortement liées aux méthodes fondées sur les MAG, mais la dichotomie observée dans les résultats concernant les facteurs liés aux voies respiratoires supérieures et aux voies respiratoires inférieures dans les cas d'hospitalisation fournit une indication selon laquelle il y aurait un effet potentiel, compte tenu des caractéristiques des dépôts de la fraction des particules de cette taille. Combinées aux études sur les symptômes respiratoires, ces études prouvent que ces particules jouent un rôle dans l'apparition d'effets néfastes au niveau des voies respiratoires supérieures.

Les études menées sur le terrain concernant les symptômes respiratoires et la fonction pulmonaire fournissent les preuves les plus solides d'un effet de la fraction grossière des  $PM_{10}$  sur la santé. Ce résultat est dû à l'emploi de méthodes non fondées sur les MAG dans ces études de séries chronologiques ainsi qu'à l'apparente spécificité des effets observés dans ces études en relation avec la configuration probable des dépôts dans les voies aériennes.

En ce qui a trait aux recherches futures sur la fraction grossière des  $PM_{10}$ , il est clair qu'il faut analyser l'incidence du problème statistique lié à l'emploi des MAG sur la relation entre les particules grossières et les effets sur la mortalité avant de procéder à l'évaluation définitive de ce paramètre. Même en tenant compte du problème lié aux MAG, les résultats discutés dans le présent rapport minimisent en général le rôle de cette fraction dans la mortalité prématurée, mais il faudra attendre les résultats d'une nouvelle analyse des études fondées sur les MAG et d'autres résultats d'études en cours avant de porter un jugement plus définitif.

Les diverses méthodes de mesure des  $PM_{10-2,5}$  ne sont pas toutes aussi valides, et les techniques de mesures indirectes comportent au moins le risque d'introduire une erreur concernant l'exposition. Il faut procéder à une nouvelle validation et à des comparaisons entre les différentes méthodes de mesure, y compris la différence entre les types de particules ( $PM_{10}$ - $PM_{2,5}$ ), les traceurs pour la détermination des sources et de l'origine crustale des particules grossières dominant l'image des  $PM_{10}$ , pour analyser plus explicitement les images particulières à chaque fraction. Bien que l'interprétation de certains travaux indique que la matière crustale n'est pas liée à la mortalité, il faut valider ces résultats et les étendre à d'autres effets négatifs avant que les gestionnaires du risque puissent les utiliser en se fiant entièrement à leur signification.

Les faibles signes d'effets cardiovasculaires observés dans certaines études (hospitalisations, visites à la salle d'urgence, études sur le terrain) demandent examen. Il semble plus probable que ces effets soient liés aux particules fines; toutefois, le fait que des études toxicologiques aient conclu que la fraction grossière avait des effets mécaniques et l'indication voulant que les petites particules (3-5 microns) dans cette gamme de tailles puissent se déposer dans les voies aériennes inférieures indiquent tout au moins la possibilité d'effets de cette nature.

Les indications apparentes observées dans plusieurs études concernant la présence de symptômes des voies aériennes supérieures fournissent un argument fiable sur le plan mécanique, qui permet d'attribuer des effets néfastes sur la santé à la fraction grossière des  $PM_{10}$ . Il serait bon de mener davantage de travaux de même nature ainsi que des travaux supplémentaires sur d'autres paramètres (en particulier les hospitalisations) pour corroborer ces résultats et pour caractériser les effets de façon plus complète.