

## Effets des particules atmosphériques sur la santé

# Particules en suspension et mortalité

Période : décembre 2008 à mars 2009

**Christophe DECLERCQ**

Institut de veille sanitaire – Département Santé environnement, Unité Air, eau et climat – Saint-Maurice

Mots clés : **Particules en suspension, Pollution atmosphérique**

De nombreuses études épidémiologiques et toxicologiques menées depuis une vingtaine d'années ont clairement établi l'existence d'un lien à court terme entre l'exposition aux particules en suspension et la mortalité. Des études plus récentes se sont intéressées aux effets à court terme dans des populations à risque, par exemple chez des personnes ayant survécu à un infarctus du myocarde (**Berglind et al., 2009**). Par contre, les effets à long terme sur la mortalité de l'exposition chronique aux particules sont moins bien documentés. L'étude de ces effets nécessite en effet le suivi pendant plusieurs années de cohortes de taille suffisante (**Zeger et al., 2008**). Un des enjeux méthodologiques majeurs de ces études est de pouvoir évaluer l'exposition aux particules de manière suffisamment précise dans l'espace, afin de limiter les biais écologiques liés à une mesure moyenne agrégée de l'exposition, et dans le temps, afin de pouvoir évaluer l'effet de différentes fenêtres d'exposition (**Puett et al., 2008**). Les résultats convergents des grandes études de cohorte sur les effets à long terme des particules sur l'espérance de vie permettent de penser que le bénéfice sanitaire de mesures de réduction des concentrations atmosphériques de particules pourrait être tout à fait substantiel. C'est ce que vient confirmer l'étude de **Pope et al. (2009)**.

### Effets de l'exposition aux particules sur la mortalité suite à un infarctus

Certaines personnes, notamment celles souffrant d'une pathologie cardiaque ou respiratoire, sont considérées comme plus sensibles aux effets de la pollution atmosphérique. Dans le cadre d'une étude européenne multicentrique, **Berglind et al. (2009)** ont analysé l'impact des niveaux de pollution sur le devenir d'environ 25 000 patients qui avaient survécu à un infarctus du myocarde. Les patients de 35 ans et plus, ayant survécu à un premier infarctus, ont été recrutés entre 1992 et 2002 dans cinq villes européennes (Augsbourg, Barcelone, Helsinki, Rome et Stockholm) par le biais de registres.

La survenue d'un nouvel infarctus dans les 28 jours suivant le premier épisode étant considérée comme une suite de l'épisode initial, ces patients ont été suivis à partir du 29<sup>ème</sup> jour suivant le premier infarctus et les décès pour l'ensemble des causes non accidentelles et pour maladies cardio-vasculaires ont été relevés pendant la période de suivi (6 à 12 ans selon la ville). Des indicateurs moyens d'exposition à l'ozone, au monoxyde de carbone (CO), au dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et

dioxyde de soufre au (SO<sub>2</sub>) ont été construits à partir des données des stations urbaines mesurant la pollution de fond dans les villes considérées. En ce qui concerne les particules en suspension, un indicateur moyen d'exposition aux PM<sub>10</sub><sup>1</sup> a été construit de la même façon, sauf à Augsbourg et Barcelone, où cet indicateur a dû être modélisé à partir des données disponibles incomplètes de PM<sub>10</sub> et des données de mesure des particules en suspension totales et/ou des fumées noires<sup>2</sup>. D'autre part, dans chacune des villes, la concentration moyenne en nombre de particules a été modélisée à partir de données incomplètes de comptage des particules, de données météorologiques et d'autres polluants de l'air (oxydes d'azote). La concentration en nombre de particules constitue un bon indicateur des particules ultrafines (diamètre inférieur à 0,1 µm), qui représentent la grande majorité du nombre total de particules. La relation entre l'exposition journalière aux indicateurs de pollution et la mortalité quotidienne a été analysée à l'aide d'un modèle additif généralisé quasi-Poissonien, avec prise en compte flexible de la tendance à long terme, de la saisonnalité, de la température, de la pression atmosphérique, de l'humidité, des jours de la semaine et des jours de vacances. De plus, le recrutement des patients étant progressif, un terme fixe a été ajouté dans le modèle pour prendre en compte la variation de la population à risque au cours du temps. Ces modèles ont été mis en œuvre séparément dans chaque ville, pour l'ensemble des patients et également par classes d'âge (35-64 ans, 65-74 ans et 75 ans et plus). Les données sur le niveau du polluant étudié ont été introduites sous différentes formes afin d'étudier la distribution de l'effet pour des périodes de 2, 5 et 15 jours d'exposition (effets immédiats, effets cumulatifs) : moyenne du jour de l'événement et de la veille, moyenne du jour et des 4 jours précédents et moyenne du jour et des 14 jours précédents. Les effets estimés dans chaque ville ont ensuite été combinés.

Les auteurs ont pu observer un effet net des indicateurs particuliers sur la mortalité : une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de la concentration massique moyenne des PM<sub>10</sub> sur 2 jours était en moyenne associée à une augmentation de 5,1 % (IC<sub>3</sub> à 95 % = [1,1 ; 9,3]) du nombre de décès toutes causes, hors accidents. De même, une augmentation de 10 000 unités par cm<sup>3</sup>, cumulée sur 2 jours, de la concentration en nombre des particules était associée à une augmentation de la mortalité de 5,6 % (IC à 95 % = [2,8 ; 8,5]). L'effet des moyennes cumulées sur 5 ou 15 jours était comparable à celui de la moyenne sur 2 jours pour les PM<sub>10</sub> ; par contre il était nettement accen-

Particules en suspension et mortalité

Christophe DECLERCQ

tué pour la concentration en nombre (+8,7 %; IC à 95 % = [5,3; 12,1]) pour la moyenne sur 15 jours. Les résultats observés pour les autres polluants étaient moins concluants, puisque aucun effet significatif n'était observé pour l'ozone et un effet significatif des autres polluants n'était observé que pour les moyennes cumulées sur 5 jours (CO, NO<sub>2</sub>) et sur 15 jours (CO, SO<sub>2</sub>). L'analyse de l'effet sur la mortalité cardiovasculaire donnait des résultats tout à fait similaires. Il n'y avait pas non plus de variation nette selon la classe d'âge au recrutement.

Par ailleurs, les auteurs ont obtenu des résultats similaires en utilisant une analyse du délai entre le recrutement et la survenue du décès, à l'aide de modèles de Cox autorisant une variation dans le temps de l'indicateur de pollution et prenant en compte, outre les mêmes variables que l'analyse précédente, les caractéristiques individuelles associées à la survie: diabète, hypertension, sexe, âge au recrutement (Peters *et al.*, 2006).

Commentaire

Les données épidémiologiques et toxicologiques récentes montrent que l'exposition aux particules en suspension pourraient contribuer à la fois au développement et à l'aggravation des maladies cardiovasculaires (Mills *et al.*, 2009). Les résultats de cette étude confirment des travaux antérieurs suggérant la sensibilité particulière des patients atteints de cardiopathies ischémiques aux effets des particules en suspension: l'effet observé à court-terme des particules sur la mortalité de ces patients était nettement plus important que ce qui est habituellement observé en population générale. Des résultats antérieurs (Zanobetti et Shwartz, 2007), avaient également montré l'impact de l'exposition chronique (moyenne sur 12 mois) aux particules sur l'aggravation des cardiopathies ischémiques.

D'autre part, cette étude est l'une des premières à apporter des éléments sur l'association entre particules ultrafines et mortalité. L'augmentation observée du risque de décès chez ces patients en relation avec la concentration en nombre des particules est tout aussi nette que celle observée pour les PM<sub>10</sub>. Les résultats observés suggèrent également que les effets des particules ultrafines pourraient perdurer plusieurs jours après une augmentation de l'exposition, contrairement à ceux des PM<sub>10</sub>.

Effets à long-terme de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité dans une cohorte américaine de bénéficiaires du régime Medicare<sup>4</sup>

Les études de cohortes bien conduites sont relativement rares car le suivi à long-terme de ces études est complexe et onéreux. Zeger *et al.*, (2008) ont donc eu l'idée d'utiliser les données du régime d'assurance maladie couvrant

la quasi-totalité des personnes âgées de 65 ans et plus aux États-Unis (Medicare) pour constituer une cohorte rétrospective (Medicare Cohort Air Pollution Study) afin d'évaluer l'effet à long terme de l'exposition chronique aux PM<sub>2,5</sub>. Ils ont limité leur analyse aux 19,1 millions de bénéficiaires dont le code postal de résidence était situé à moins de 10 km d'une station fixe de mesure des PM<sub>2,5</sub> et les ont inclus et suivis sur une période de 6 ans entre 2000 et 2005. L'administration de Medicare a fourni aux auteurs la date exacte des décès survenus pendant la période d'étude. La durée moyenne de suivi des bénéficiaires était de 4,8 années, soit un total de plus de 90 millions de personnes-années<sup>6</sup>, au cours desquelles près de 5 millions de décès sont survenus. Les auteurs ont calculé la concentration moyenne sur 6 ans de PM<sub>2,5</sub> pour chacun des 4 568 codes postaux de résidence, à l'aide des données des 1 006 stations fixes disponibles. Les relations entre exposition aux particules et mortalité ont été analysées à l'aide de modèles de régression de Poisson à l'échelle des codes postaux, avec ajustement sur des indicateurs de la situation socio-économique (revenu médian des ménages, pourcentage des ménages en dessous du seuil de pauvreté, pourcentage de diplômés du secondaire et du supérieur) ainsi que sur l'indice comparatif de mortalité par broncho-pneumopathie chronique obstructive, utilisé comme indicateur indirect de l'exposition à la fumée de tabac. La modélisation a été réalisée séparément par grandes régions (est, centre et ouest des États-Unis) et par classes d'âge (65-74 ans, 75-84 ans et 85 ans et plus), mais aussi pour l'ensemble des classes d'âge (65 ans et plus). Après ajustement sur l'âge, la situation socio-économique et la mortalité par broncho-pneumopathie, une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de la concentration moyenne de PM<sub>2,5</sub> à l'échelle du code postal de résidence est associée à une augmentation de la mortalité respectivement de 6,8 % (IC à 95 % = [4,9; 8,7]) à l'est des États-Unis et de 13,2 % (IC à 95 % = [9,5; 16,9]) au centre, alors que l'effet observé à l'ouest des États-Unis n'est pas significatif (-1,1 %; IC à 95 % = [-3,0; 0,8]). L'examen détaillé des résultats par classe d'âge permet d'observer un effet plus marqué entre 65 et 74 ans, à l'est (+11,4 %; IC à 95 % = [8,8; 14,1]) et au centre (+20,4 %; IC à 95 % = [15,0; 25,8]) des États-Unis, alors qu'à l'ouest, l'effet observé n'est significatif dans aucune des trois classes d'âge analysées. Pour les sujets âgés de 85 ans et plus, l'effet observé n'était significatif dans aucune des régions.

Commentaire

Les apports principaux de cette étude sont i) la taille très importante de la population analysée, ce qui lui confère une puissance statistique toute particulière ii) le fait qu'il s'agisse de personnes âgées de 65 ans et plus, avec un nombre important de décès malgré la courte période de suivi. Les résultats obtenus viennent globalement conforter les résultats observés dans les grandes cohortes américaines, notamment celle

de l'American Cancer Society (Pope *et al.*, 2002). La même équipe a d'ailleurs publié antérieurement un travail sur les données Medicare, dont l'analyse était limitée au périmètre géographique de la cohorte de l'American Cancer Society et dont les résultats étaient tout à fait comparables (Eftim *et al.*, 2008). Le principal apport de cette nouvelle étude est de montrer une hétérogénéité géographique de l'effet de l'exposition chronique aux  $PM_{2,5}$ . Ce résultat tient avant tout à la situation de la région de Los Angeles, en Californie, où les niveaux de  $PM_{2,5}$  sont élevés contrairement aux taux de mortalité. Les auteurs suggèrent que cela pourrait être expliqué par une composition chimique différente des particules (plus forte concentration de sulfates à l'est des États-Unis). L'impact différencié des particules selon leur composition chimique est effectivement un sujet de recherche en plein développement (Lippmann, 2009). Pour autant, l'interprétation de ces résultats est un peu limitée par le caractère écologique de l'étude. En effet, la mesure des concentrations de particules fines, mais aussi celle des facteurs de confusion sont faites à l'échelle du code postal et non à l'échelle individuelle. Elle ne prend donc pas en compte l'hétérogénéité de l'exposition de la population. Jerrett *et al.* (2005) avaient d'ailleurs observé un effet significatif des particules fines sur la mortalité, en utilisant les données des sujets de la cohorte de l'American Cancer Society résidant à Los Angeles. Ils avaient modélisé les concentrations résidentielles de  $PM_{2,5}$  à l'aide d'un modèle géostatistique en prenant en compte des facteurs de confusion à l'échelle individuelle.

### Exposition chronique aux particules et effets sur la mortalité et l'incidence des maladies coronariennes dans une cohorte américaine d'infirmières

Puett *et al.* (2008) ont estimé l'exposition résidentielle aux  $PM_{10}$  d'une cohorte américaine d'infirmières (la Nurse's Health Study) afin d'analyser les relations entre cette exposition d'une part, et

la mortalité et l'incidence des affections coronariennes d'autre part. Cette étude de cohorte a débuté en 1976, avec le recrutement de 121 700 infirmières, âgées de 30 à 55 ans. Tous les deux ans, les participantes ont rempli un questionnaire permettant de relever leurs éventuels changements d'adresse, ainsi que des données sur les facteurs de risque et sur les événements de santé survenus depuis le questionnaire précédent. En cas de survenue d'un événement de santé, les chercheurs demandaient à l'intéressée l'autorisation de consulter ses dossiers médicaux.

La présente étude porte sur une période de 10 ans (1992-2002) et concerne les 66 250 infirmières résidant dans les aires métropolitaines de treize états contigus du nord-est des États-Unis, sans antécédent de cancer ou d'infarctus du myocarde au début de la période d'étude. L'âge moyen de

ces infirmières pendant la période étudiée était de 62 ans. Les auteurs ont porté une attention toute particulière à l'évaluation de l'exposition, en prenant en compte entre autre les éventuels déménagements des infirmières. Les données des sites de mesure des  $PM_{10}$  ont été utilisées pour estimer l'exposition résidentielle de chacune des infirmières avec une résolution temporelle d'un mois sur la période 1988-2002, en utilisant un modèle additif généralisé, à effets aléatoires, pour lisser les variations spatiales et temporelles des concentrations de  $PM_{10}$ . Ce modèle prenait également en compte les caractéristiques de l'environnement des sites de mesure (densité de population, proximité du trafic, relief, usage du sol, etc.) pour prédire les concentrations de  $PM_{10}$  en dehors des sites de mesure. La méthodologie est détaillée dans l'article de Yanosky *et al.* (2008).

Pendant la période étudiée (1992-2002), la concentration annuelle de  $PM_{10}$  était en moyenne de  $21,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 3 785 décès de cause non accidentelle et 1 348 épisodes coronariens ont été recensés. Une augmentation de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de l'exposition moyenne aux  $PM_{10}$  durant les 12 mois précédant le décès était associée à un risque relatif de décès de 1,16 (IC à 95 % = [1,05; 1,28]). En ce qui concerne les événements coronariens, le risque de survenue d'un premier infarctus du myocarde ne variait pas de manière statistiquement significative avec l'exposition aux  $PM_{10}$ . Par contre, une augmentation de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les 12 mois précédents était associée à un risque relatif de décès par maladie coronarienne de 1,43 (IC à 95 % = [1,10; 1,86]).

Pour la mortalité totale comme pour les événements coronariens mortels, l'association avec l'exposition aux  $PM_{10}$  était maximale quand l'exposition moyenne était calculée sur les 24 mois précédents; et minimale quand elle était calculée seulement sur le mois précédent. Après prise en compte de facteurs de confusion à l'échelle individuelle (obésité, tabagisme, diabète, antécédents familiaux d'infarctus, hypertension artérielle, hypercholestérolémie, activité physique) et à l'échelle de l'îlot de recensement (revenu médian des ménages, valeur locative médiane des logements), les estimations du risque relatif étaient un peu atténuées, respectivement 1,07 (IC à 95 % = [0,97; 1,18]) pour la mortalité non accidentelle et 1,30 (IC à 95 % = [1,00; 1,71]) pour les événements coronariens mortels. D'autre part, l'association entre  $PM_{10}$  et survenue d'événements coronariens mortels était nettement plus forte chez les infirmières atteintes d'obésité (indice de masse corporelle égal ou supérieur à 30) et chez celles n'ayant jamais fumé.

### Commentaire

Les résultats obtenus par les auteurs en termes de risque relatif sont tout à fait comparables à ceux obtenus dans d'autres cohortes. La principale innovation de cette étude réside dans l'effort pour modéliser l'exposition résidentielle avec une résolution temporelle beaucoup plus fine que les

## Particules en suspension et mortalité

Christophe DECLERCQ

études de cohortes publiées antérieurement. Les auteurs ont pu ainsi analyser l'impact du choix de la fenêtre d'exposition (de 1 à 48 mois) sur l'association entre  $PM_{10}$  et survenue de décès non accidentels et d'événements coronariens mortels. Les résultats obtenus suggèrent que des mesures de réduction des concentrations de particules pourraient avoir un effet bénéfique sur la santé de la population en quelques années. L'observation d'un effet des  $PM_{10}$  sur la survenue de décès d'origine coronarienne plus important chez les infirmières qui n'avaient jamais fumé suggère que l'effet du tabagisme pourrait masquer l'effet des particules chez les fumeuses.

### Impact de la diminution des concentrations de particules fines sur l'espérance de vie dans 211 comtés des États-Unis

Plusieurs études ont montré une association entre l'exposition chronique aux particules fines et l'espérance de vie. Ces résultats ont été utilisés aux États-Unis, mais aussi en Europe, pour modéliser le gain d'espérance de vie qui pourrait résulter de mesures de réduction des concentrations de particules fines.

Dans la mesure où les concentrations de particules fines ont globalement diminué entre 1980 et 2000 aux États-Unis, peut-on réellement observer un gain d'espérance de vie en relation avec cette diminution? C'est ce qu'ont étudié **Pope et al. (2009)**. Ils ont bénéficié pour cela d'un riche jeu de données: d'une part, ils ont utilisé les résultats d'un travail antérieur d'estimation des variations annuelles de l'espérance de vie à l'échelle des cantons des États-Unis entre 1961 et 1999 (Ezzati et al., 2008); d'autre part, ils ont utilisé les résultats d'un travail réalisé à partir des données disponibles de mesure de  $PM_{2,5}$  dans 61 aires métropolitaines, dans le cadre d'analyses complémentaires de la cohorte de l'American Cancer Society. Ils ont ainsi pu estimer pour 211 comtés, d'une part l'espérance de vie pour les périodes 1978-1982 et 1997-2001, d'autre part la concentration moyenne de  $PM_{2,5}$  pour des périodes proches, soit 1979-1983 et 1999-2000. Ils ont également pris en compte dans leurs analyses des données issues des recensements pour les comtés analysés: revenu des ménages, niveau d'études, migrations, proportion d'habitants vivant en milieu urbain, part de différents groupes ethniques. Enfin, les taux standardisés de mortalité par broncho-pneumopathie chronique obstructive et par cancer du poumon ont été utilisés comme indicateur indirect de l'exposition cumulée de la population à la fumée de tabac.

Pour les deux périodes étudiées, soit le début des années 1980 soit la fin des années 1990, les auteurs ont observé une association significative entre  $PM_{2,5}$  et espérance de vie, à l'échelle des comtés, mais cette association était nettement atténuée après prise en compte des différentes variables

d'ajustement. Une augmentation de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentration de  $PM_{2,5}$  était alors associée à une baisse moyenne de 0,46 années pour la période 1978-1982 ( $p = 0,04$ ) et de 0,37 années pour la période 1997-2001 ( $p = 0,09$ ).

Entre les deux périodes, la concentration moyenne en  $PM_{2,5}$  des comtés avait diminué de  $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne (écart-type: 2,9), soit une baisse moyenne de 30 %, et l'espérance de vie avait augmenté de 2,7 années (écart-type: 0,9), soit une augmentation moyenne de 4 %.

L'augmentation de l'espérance de vie des comtés entre les deux périodes était d'autant plus forte que la baisse des concentrations de  $PM_{2,5}$  avait été nette: une réduction de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentration de  $PM_{2,5}$  était ainsi significativement associée en moyenne à une augmentation de 0,61 année (écart-type: 0,20). L'évolution moyenne des concentrations de  $PM_{2,5}$  observée pendant la période ( $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a donc été associée à un gain moyen de 0,4 année d'espérance de vie soit 15 % du gain moyen d'espérance de vie pendant la période. Cette estimation était peu modifiée après prise en compte des différentes variables d'ajustement.

#### Commentaire

Les résultats de cette étude sont donc tout à fait remarquables, car ils permettent de montrer que la baisse continue des concentrations de  $PM_{2,5}$  s'est accompagnée d'un gain mesurable en termes d'espérance de vie. L'interprétation est bien sûr limitée par le caractère écologique de l'analyse. Celle-ci porte sur les concentrations moyennes de  $PM_{2,5}$  à l'échelle des comtés. Elle ne prend donc pas en compte l'hétérogénéité de l'exposition individuelle aux particules fines dans la population. Cependant, l'étude spécifique de l'effet des différences entre périodes limite probablement les biais classiquement associés aux études écologiques, la différence entre les niveaux de  $PM_{2,5}$  des deux périodes étant probablement plus homogène. Il ne faut pas non plus négliger ici, comme le rappellent les auteurs dans leur discussion, que les  $PM_{2,5}$  mesurées sur des stations fixes peuvent être, au moins en partie, des indicateurs de l'exposition à d'autres polluants. Cependant, le résultat obtenu, un gain moyen d'un peu plus de 7 mois pour une baisse de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentration de particules fines, est cohérent d'une part avec les résultats des études de cohorte et d'autre part avec l'ordre de grandeur obtenu dans différents exercices antérieurs de modélisation du gain potentiel d'espérance de vie en relation avec une diminution des concentrations de particules fines. Enfin, on remarquera que les niveaux de  $PM_{2,5}$  étaient en moyenne respectivement de 20,6 et  $14,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durant les deux périodes étudiées, soit en dessous des valeurs cibles fixées par la directive 2008/50/CE du Parlement Européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

## Conclusion générale

Les articles analysés contribuent de manière significative à une meilleure connaissance de l'impact des particules en suspension sur la mortalité. L'article de **Berglind et al. (2009)** permet de montrer la plus grande sensibilité des patients atteints de cardiopathies ischémiques aux effets à court-terme de la pollution atmosphérique, notamment des particules en suspension. Les articles de **Zeger et al. (2008)** et **Puett et al. (2008)** confirment de manière convergente l'effet à long-terme de l'exposition chronique aux particules en termes de mortalité et donc le bénéfice sanitaire substantiel qui peut résulter d'une diminution des concentrations atmosphériques de particules, ce que démontre d'une manière remarquable l'article de **Pope et al. (2009)** en termes de gain sur l'espérance de vie.

Une question importante pour les décideurs est celle de l'interprétation de ces résultats en termes de temps nécessaire pour obtenir ce bénéfice sanitaire : au bout de combien de temps pourra-t-on observer l'effet sur la mortalité d'une réduction des concentrations de particules ? Des mois ? Des années ? Les travaux présentés suggèrent que le bénéfice pourrait être immédiat pour les patients victimes d'un infarctus du myocarde en réduisant le risque de récurrence (**Berglind et al., 2009**). En ce qui concerne le bénéfice global en termes d'espérance de vie, même s'il faut rester prudent dans l'interprétation de ces résultats, l'étude de **Puett et al. (2009)** confirme des observations antérieures qui suggéraient que ce bénéfice pourrait être observé en quelques années.

## Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique

Air pollution, Particulate matter.

## Publications analysées

**Berglind N, Bellander T, Forastiere F et al.** Ambient air pollution and daily mortality among survivors of myocardial infarction. *Epidemiology* 2009; 20 (1): 110-8.

**Zeger SL, Dominici F, McDermott A et al.** Mortality in the Medicare population and chronic exposure to fine particulate air pollution in urban centers (2000-2005). *Environ. Health Perspect.* 2008; 116 (12): 1614-9.

**Puett RC, Schwartz J, Hart JE et al.** Chronic particulate exposure, mortality, and coronary heart disease in the Nurses' Health Study. *Am. J. Epidemiol.* 2008; 168 (10): 1161-8.

**Pope CA 3rd, Ezzati M, Dockery DW.** Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *N. Engl. J. Med.* 2009; 360 (4): 376-86.

## Publications de référence

**Eftim SE, Samet JM, Janes H et al.** McDermott A, Dominici F. Fine particulate matter and mortality: a comparison of the six cities and American Cancer Society cohorts with a medicare cohort. *Epidemiology.* 2008; 19 (2): 209-16.

**Ezzati M, Friedman AB, Kulkarni SC et al.** The reversal of fortunes: trends in county mortality and cross-county mortality disparities in the United States. *PLoS Med.* 2008; 5 (4): e66.

**Jerrett M, Burnett RT, Ma R et al.** Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology.* 2005; 16 (6): 727-36.

**Peters A, von Klot S, Berglind N et al.** Comparison of different methods in analyzing short-term air pollution effects in a cohort study of susceptible individuals. *Epidemiol. Perspect. Innov.* 2006; 3:10.

**Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ et al.** Lung cancer, cardiovascular mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA.* 2002; 287 (9): 1132-41.

**Yanosky JD, Paciorek CJ, Schwartz J et al.** Spatio-temporal modeling of chronic PM10 exposure for the Nurses' Health Study. *Atmos. Environ.* 2008; 42 (18): 4047-62.

**Zanobetti A, Schwartz J.** Particulate air pollution, progression, and survival after myocardial infarction. *Environ. Health Perspect.* 2007; 115 (5): 769-75.

## Revue de la littérature

**Lippmann M.** Semi-continuous speciation analyses for ambient air particulate matter: an urgent need for health effects studies. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2009; 19 (3): 235-47.

**Mills NL, Donaldson K, Hadoke PW et al.** Adverse cardiovascular effects of air pollution. *Nat. Clin. Pract. Cardiovasc. Med.* 2009; 6 (1): 36-44.

## Lexique

1  $PM_{10}$  : Particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns.

2 Fumées noires : Indice de concentration des particules en suspension mesuré par réflectométrie

3 IC : Intervalle de confiance

4 Medicare : Système d'assurance de santé géré par le gouvernement fédéral des USA et destiné aux personnes de plus de 65 ans ou répondant à certains critères médicaux.

5  $PM_{2,5}$  : Particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns.

6 Personnes-années : Durée totale d'exposition au risque de la population étudiée (par exemple, 1000 personnes-années pour 100 personnes suivies pendant 10 ans).