

Effets des particules atmosphériques sur la santé

Effets des particules atmosphériques selon la taille et la composition chimique

Période : avril 2009 à août 2009

Myriam BLANCHARD*, Sophie LARRIEU**, Édouard CHATIGNOUX*** et Christophe DECLERCO****

* CIRE Haute-Normandie – Rouen

** CIRE Aquitaine – Bordeaux

*** ORS Île-de-France – Paris

**** InVS – Département Santé environnement, Unité Air, eau et climat – Saint-Maurice

Mots clés : Particules en suspension, Pollution atmosphérique, santé

Les particules en suspension dans l'atmosphère constituent un mélange complexe de nombreux composants chimiques directement émis par les sources (combustion, érosion...) ou résultant de réactions chimiques secondaires. Depuis plusieurs années, de très nombreuses études toxicologiques (Chen, Lippmann, 2009 ; Mauderly, Chow, 2008 ; Schlesinger, 2007) et épidémiologiques (Brunekreef, Forsberg, 2005 ; Pope *et al.*, 2002) ont établi la nocivité des particules pour la santé. Cependant, le rôle joué par les différents éléments composant ce mélange de particules est encore mal connu.

Si les effets sanitaires des particules fines (de diamètre inférieur à 2,5 µm : PM_{2,5}⁽¹⁾) sont bien établis, ceux de la fraction grossière (de diamètre compris entre 2,5 et 10 µm : PM_{2,5-10}⁽²⁾) sont moins documentés et restent discutés. Dans ce contexte, l'étude de **Zanobetti et Schwartz (2009)** apporte un éclairage tout à fait intéressant sur les effets à court terme des particules sur la mortalité en fonction de leur taille. D'autre part, le rôle respectif joué par les différents composants (métalliques, organiques et inorganiques) des particules reste mal connu, alors qu'il s'agit d'un sujet d'investigation important pour mieux comprendre les effets des particules sur la santé et guider les politiques d'action vers les sources d'émissions de particules. C'est l'objet des études de **Bell *et al.* (2009)**, **Peng *et al.* (2009)** et **Von Klot *et al.* (2009)**.

Effet à court terme des particules fines et grossières sur la mortalité

Analyse

Zanobetti et Schwartz (2009) ont conduit une analyse écologique de séries temporelles sur un ensemble de grandes villes des États-Unis pour la période 1999-2005. Le nombre quotidien de décès toutes causes non accidentelles confondues et par causes spécifiques a été recueilli à l'échelle des comtés. Les données de concentrations journalières ambiantes en PM_{2,5} et en PM₁₀⁽³⁾ de l'Environmental Protection Agency (EPA) ont été utilisées pour calculer les niveaux moyens de ces deux fractions de particules et, par différence, le niveau moyen de PM_{2,5-10}. L'étude porte sur 112 villes pour l'analyse des effets des particules fines sur les variations journalières de la mortalité et sur 47 villes pour les particules grossières. Ces analyses ont été réalisées à l'aide de modèles de régression de Poisson pour chaque ville et chaque saison. Les résultats pour l'ensemble des villes ont ensuite été synthétisés au niveau national, en termes d'augmentation moyenne du nombre journalier de décès (excès de risque relatif ou ERR en %) pour une augmentation de 10 µg/m³ de la moyenne des concentrations en particules du jour et de la veille. Les auteurs ont également analysé les variations de l'effet des particules sur la mortalité selon les caractéristiques climatiques des villes.

Le nombre journalier de décès pour l'ensemble des causes non accidentelles augmentait de manière significative avec le niveau de PM_{2,5} (ERR = 0,98 %, IC à 95 % = [0,75;1,22]) pour une augmentation de 10 µg/m³ et cette augmentation était encore plus nette pour les décès causés par des maladies cardiovasculaires (ERR = 0,85 % [0,46;1,24]), notamment les infarctus du myocarde (ERR = +1,18 % [0,48;1,89]) et les accidents vasculaires cérébraux (ERR = +1,78 % [0,96;2,62]), mais aussi pour les décès de cause respiratoire (ERR = +1,68 % [1,04;2,33]).

En ce qui concerne les PM_{2,5-10}, les associations avec la mortalité étaient moins marquées mais également significatives, excepté pour les infarctus du myocarde. L'augmentation la plus marquée concernait la mortalité respiratoire (ERR = +1,16 % [0,43;1,89]). La prise en compte simultanée des deux polluants dans les modèles ne modifiait que très peu les associations observées. Pour les deux fractions de particules, les effets observés étaient plus élevés au printemps, ce qui pourrait suggérer une pénétration plus importante des particules à l'intérieur des locaux pour des températures moyennes, du fait notamment d'une aération plus fréquente. Enfin, la comparaison des risques relatifs estimés selon les caractéristiques climatiques des villes permettait d'observer une différence importante entre les deux fractions de particules. Pour les PM_{2,5}, les effets variaient peu, à part l'association moins marquée observée dans les villes situées dans des régions de climat de type méditerranéen. Ce dernier résultat s'explique sans

doute en partie par des erreurs plus importantes dans la mesure de l'exposition de la population aux particules, la région de climat de type méditerranéen incluant la Californie, où, du fait de la large étendue urbaine, une large partie de la population se trouve éloignée des capteurs. En revanche, les risques relatifs estimés pour les $PM_{2,5-10}$ variaient fortement avec un effet nettement plus marqué dans les villes à climat continental sec. Ce résultat suggère des variations locales importantes de la toxicité des particules grossières selon leur composition.

Commentaire

Cette étude est la première à analyser l'impact des niveaux de particules fines et de particules grossières avec un jeu de données aussi riche en termes de durée de la période de mesures et de nombre de villes étudiées. Ces résultats confirment les données disponibles sur l'impact des particules fines sur la mortalité, en particulier pour causes cardiovasculaires. Les auteurs indiquent que les particules grossières ont également un effet sur la mortalité qui ne doit pas être négligé. L'effet des particules grossières paraît moins robuste que celui observé pour les particules fines : les effets observés sont moins marqués et plus variables selon le contexte climatique local. Cela peut effectivement indiquer que l'effet des particules grossières varie en fonction de leur composition, comme les auteurs le suggèrent. Ces éléments ont pu contribuer à sous-estimer l'effet des particules grossières : le nombre de villes sur lesquelles l'effet des particules grossières était étudié était plus réduit ; la concentration moyenne de $PM_{2,5-10}$ n'était pas mesurée directement, mais calculée par différence entre les niveaux moyens de PM_{10} et de $PM_{2,5}$, ce qui additionne les erreurs de mesure ; enfin, il est raisonnable de penser que les variations des concentrations atmosphériques à l'intérieur des comtés sont plus fortes pour les particules grossières.

Exposition au carbone élémentaire et survie après un premier infarctus du myocarde

Analyse

Von Klot *et al.* (2009) se sont intéressés aux effets à long terme sur la mortalité d'individus survivant à un premier infarctus du myocarde, de l'exposition chronique au carbone élémentaire, indicateur de la pollution particulaire liée au trafic. Leur étude a porté sur une cohorte de 3 895 patients résidant dans l'unité urbaine de Worcester, Massachusetts, hospitalisés pour un infarctus entre 1995 et 2003, dont 44 % sont décédés au cours du suivi. Pour chaque sujet, un indicateur d'exposition annuelle moyenne au carbone élémentaire, à l'adresse de résidence a été estimé à l'aide d'un modèle géostatistique, utilisant des mesures de $PM_{2,5}$, de réflectance⁽⁴⁾ et de carbone élémentaire, ainsi que des données sur les caractéristiques locales des points de mesure. L'association entre cet indicateur d'exposition et le risque de décès a été analysée à l'aide d'un modèle de Cox⁽⁵⁾, ajusté sur les caractéristiques individuelles des patients (âge, sexe, ethnie, statut marital, antécédents médicaux et complications cliniques

de l'infarctus), disponibles dans les dossiers médicaux, ainsi que sur des données sociodémographiques agrégées issues d'un recensement de la population.

Après ajustement sur les facteurs de confusion individuels une augmentation de l'exposition au carbone élémentaire était significativement associée à une augmentation du risque de mortalité toutes causes confondues ($RR=1,15$ IC à 95 % = [1,03 -1,29] pour une augmentation de 0,24 $\mu g/m^3$ du niveau moyen annuel de carbone élémentaire) au-delà de deux ans de suivi. À l'inverse, aucune association n'était observée dans les deux années suivant l'infarctus. Lorsque les caractéristiques socioéconomiques du quartier de résidence des patients étaient incluses dans le modèle, l'association entre l'exposition au carbone élémentaire et la mortalité était atténuée.

Commentaire

L'étude de Von Klot *et al.* (2009) est extrêmement bien menée, notamment en ce qui concerne l'évaluation de l'exposition. Elle apporte des arguments en faveur d'un effet à long terme de la pollution particulaire liée au trafic sur la mortalité de patients survivant à un infarctus du myocarde et vient aussi corroborer les résultats de plusieurs travaux antérieurs (Pope *et al.*, 2002 ; Gehring *et al.*, 2006 ; Pope *et al.*, 2004). C'est la survie à long terme qui est diminuée, puisque l'effet observé n'est significatif qu'après deux ans de survie après l'infarctus. Les auteurs suggèrent que ce sont les caractéristiques cliniques de l'infarctus qui joueraient le rôle principal dans les mois qui suivent l'événement, où la mortalité est forte, l'effet de la pollution n'apparaissant qu'après cette période. De nombreuses analyses de sensibilité ont été menées et l'adéquation des modèles a été vérifiée, ce qui confère aux résultats une bonne fiabilité. On peut néanmoins regretter que les auteurs n'aient pu étudier de façon spécifique la mortalité cardiovasculaire et prendre en compte les différentes adresses de résidence des patients pour l'estimation de l'exposition.

Admissions hospitalières en urgence et composition chimique des $PM_{2,5}$

Analyse

Dans le cadre d'une étude multicentrique américaine, Peng *et al.* (2009) ont examiné l'association entre les admissions hospitalières pour causes cardiovasculaires et respiratoires et les composants chimiques des $PM_{2,5}$ dans 119 comtés des États-Unis, pendant la période 2000-2006. Les auteurs ont extrait de la base de données du régime d'assurance maladie Medicare, qui couvre plus de 12 millions de personnes de plus de 65 ans, les données quotidiennes d'admissions hospitalières en urgences pour des causes cardiovasculaires et respiratoires. Les données sur les niveaux ambiants de $PM_{2,5}$ et de leurs composants chimiques majeurs (sulfates, nitrates, silicium, carbone élémentaire, carbone organique, ions sodium et ammonium) ont été extraites de la base nationale de l'EPA. Ces mesures n'étaient réalisées

Effets des particules atmosphériques selon la taille et la composition chimique

Myriam BLANCHARD, Sophie LARRIEU, Édouard CHATIGNOUX et Christophe DECLERCQ

qu'un jour sur 3 ou sur 6 tout au long de l'année. Les analyses ont été réalisées par comté en utilisant des modèles de régression de Poisson mono et multi-polluants ajustés sur la tendance et les facteurs de confusion comme la température. Les indicateurs de pollution ont été introduits avec différents délais de 0 à 3 jours. Les risques issus de ces modèles ont ensuite été combinés pour estimer l'effet moyen d'une augmentation journalière d'un interquartile du composant considéré sur les variations journalières du nombre d'hospitalisations.

Les auteurs ont observé une association positive et statistiquement significative entre les admissions pour causes cardiovasculaires et une augmentation le jour même des niveaux de nitrates, de carbone élémentaire, de carbone organique et d'ion ammonium. Dans les modèles multi-polluants, l'effet des différents composants était atténué, mais restait statistiquement significatif pour le carbone élémentaire et le carbone organique. Pour les admissions pour causes respiratoires, seul l'effet du carbone organique était significatif, avec ou sans ajustement sur les autres composants.

L'étude de **Bell et al. (2009)** s'est également intéressée à l'effet de la composition des particules sur les admissions hospitalières, mais en adoptant une stratégie d'analyse différente. Les auteurs ont cherché à analyser si les variations de l'effet à court terme des $PM_{2,5}$, selon le lieu et la saison, pouvaient être expliquées par des variations dans la composition chimique des particules. Ils ont donc analysé les relations entre d'une part les concentrations moyennes par comté et saison de différents composants chimiques des $PM_{2,5}$ et d'autre part l'augmentation du nombre journalier d'hospitalisations cardiovasculaires et respiratoires le jour même et la veille, en relation avec une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ du niveau journalier de $PM_{2,5}$, estimée pour la période 1999-2005 avec la même méthodologie que celle de **Peng et al. (2009)**. Ces analyses ont porté sur les 100 comtés des États-Unis pour lesquels les auteurs ont pu disposer de résultats de mesures des composants des $PM_{2,5}$ pour la période de 1999 à 2005.

Les auteurs ont observé que l'effet des $PM_{2,5}$ sur les hospitalisations pour causes cardiovasculaires et sur les hospitalisations pour causes respiratoires chez les plus de 65 ans était d'autant plus accentué que le contenu moyen des $PM_{2,5}$ en vanadium, en carbone élémentaire ou en nickel était élevé. Dans les modèles qui incluent les mesures de nickel et de vanadium, on observe une diminution de l'hétérogénéité de 37 % entre les comtés. Les auteurs avancent comme une des hypothèses possibles que ces éléments sont des marqueurs d'une pollution particulière générée par les combustions et/ou le trafic routier. Globalement, la relation entre les hospitalisations pour des maladies cardio-vasculaires et le nickel restait robuste dans les modèles multi-polluants et après prise en compte des caractéristiques socioéconomiques des comtés.

Commentaire

Ces deux études ont été réalisées par la même équipe de grande qualité, qui a utilisé au mieux un jeu de données très riche sur la composition chimique des $PM_{2,5}$, malgré un certain nombre de limites, par exemple en termes de nombre de jours de mesure. Comme les quelques autres travaux (**Ostro et al., 2007**; **Lippmann**

et al., 2006; **Lippmann, 2009**) qui ont cherché à analyser l'effet de la composition chimique des particules sur la morbidité ou la mortalité, les résultats de ces deux études apportent des arguments tout à fait convaincants pour montrer le rôle de la composition chimique des particules pour expliquer la variabilité des effets observés selon la saison ou selon les caractéristiques géographiques. Ils suggèrent que les particules liées aux combustions (trafic, industrie, combustion de bois) ont un effet plus marqué sur la morbidité.

CONCLUSION GÉNÉRALE

De nombreux mécanismes restent ainsi à élucider pour comprendre les effets des particules en fonction de leur taille et de leur composition. Les études analysées ici montrent pourtant qu'à condition de disposer des données adéquates, les épidémiologistes peuvent arriver à des résultats tout à fait intéressants. Ainsi, l'étude de **Zanobetti et Schwartz (2009)** montre, malgré les limites de leur estimation de l'exposition aux poussières grossières, que l'effet de celles-ci ne doit pas être négligé, alors que ces particules ne font actuellement l'objet d'aucune prescription réglementaire en matière de surveillance. Les résultats des trois autres études suggèrent, avec d'autres travaux et sans épuiser le sujet, un effet plus marqué des particules liées aux combustions, notamment celles du trafic routier. Ces résultats devraient encourager la mise en place de dispositifs de mesure de la composition chimique des particules, notamment en France, où les données disponibles sont encore trop peu nombreuses.

Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique

Air pollution, Particulate matter

Publications analysées

Bell ML, Ebisu K, Peng RD et al. Hospital admissions and chemical composition of fine particle air pollution. *Am J. Respir. Crit. Care Med.* 2009; 179(12):1115-20.

Peng RD, Bell ML, Geyh AS et al. Emergency admissions for cardiovascular and respiratory diseases and the chemical composition of fine particle air pollution. *Environ. Health Perspect.* 2009; 117(6):957-63.

Von Klot S, Gryparis A, Tonne C et al. Elemental carbon exposure at residence and survival after acute myocardial infarction. *Epidemiology* 2009; 20(4):547-54.

Zanobetti A, Schwartz J. The effect of fine and coarse particulate air pollution on mortality: a national analysis. *Environ. Health Perspect.* 2009; 117(6):898-903.

Publications de référence

Brunekreef B, Forsberg B. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. *Eur. Respir. J.* 2005; 26(2): 309-18.

Chen LC, Lippmann M. Effects of metals within ambient air particulate matter (PM) on human health. *Inhal. Toxicol.* 2009; 21(1):1-31.

Gehring U, Heinrich J, Kramer U et al. Long-term exposure to ambient air pollution and cardiopulmonary mortality in women. *Epidemiology.* 2006; 17(5):545-51.

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.

Lippmann M, Ito K, Hwang JS et al. Cardiovascular effects of nickel in ambient air. *Environ. Health Perspect.* 2006; 114(11): 1662-9.

Mauderly JL, Chow JC. Health effects of organic aerosols. *Inhal. Toxicol.* 2008; 20(3):257-88.

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

Pope CA III, Burnett RT, Thurston GD et al. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation.* 2004; 109(1):71-7.

Ostro B, Feng WY, Broadwin R et al. The effects of components of fine particulate air pollution on mortality in California: results from CALFINE. *Environ. Health Perspect.* 2007; 115(1):13-9.

Schlesinger RB. The health impact of common inorganic components of fine particulate matter (PM_{2.5}) in ambient air: a critical review. *Inhal. Toxicol.* 2007; 19(10):811-32.

Lexique

- (1) PM_{2,5} : particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns (ou particules fines).
- (2) PM_{2,5-10} : particules en suspension de diamètre aérodynamique compris entre 2,5 et 10 microns (ou particules grossières).
- (3) PM₁₀ : particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns.
- (4) Réflectance : proportion de la lumière incidente réfléchie.
- (5) Modèle de Cox : modèle permettant d'estimer l'influence de plusieurs facteurs sur la durée de survie.