

Les effets des composants de la pollution atmosphérique particulaire sur la mortalité en Californie : résultats de l'étude CALFINE

The effects of components of fine particulate air pollution on mortality in California: Results from CALFINE

Ostro B, Feng WY, Broadwin R, Green S, Lipsett M.

Environ Health Perspect 2007;115:13-19.

L'impact des composants des particules sur la mortalité cardio-vasculaire dans des sous-populations sensibles

The impact of components of fine particulate matter on cardiovascular mortality in susceptible subpopulations

Ostro B, Feng WY, Broadwin R, Malig B, Green S, Lipsett M.

Occup Environ Med 2008 (publication en ligne).

Analyse commentée par

Véronique Gherzi¹ et Myriam Blanchard²

¹ Airparif, Paris

² Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice

Protection Agency (US EPA) et le California Air Resources Board (CARB) ont mis en place le projet CALFINE dans neuf comtés de Californie afin d'étudier les effets des PM_{2,5} sur la mortalité. Les deux études présentées ci-dessous s'attachent plus particulièrement aux effets des composants des PM_{2,5} sur la mortalité de 2000 à 2003 et au rôle joué par les caractéristiques sociodémographiques dans ces effets.

■ Contexte

Plusieurs études ont démontré l'effet des particules fines PM_{2,5} sur la mortalité, mais peu ont étudié plus spécifiquement les effets de leurs composants. De même, peu d'informations existent sur les effets modificateurs de facteurs socio-économiques et démographiques sur les relations mortalité/PM. En 1999, l'US Environmental

■ Résumé de l'étude

Objectif

La première étude analyse les associations à court terme entre 19 composants des PM_{2,5} et la mortalité quotidienne (toutes causes non accidentelles tous âges et des plus de 65 ans, pour causes respiratoire (J00-J98) et cardio-

vasculaire (I00-I99)) dans six des neuf comtés de l'étude CALFINE, soit environ 8,7 millions de personnes. La seconde étude évalue les modifications des relations entre mortalité cardio-vasculaire et pollution particulaire entraînées par les différences sociodémographiques après stratification sur le sexe, la couleur de peau, l'appartenance ethnique et le niveau d'instruction.

Matériels et méthodes

Le nombre de décès journalier a été recueilli auprès du California Department of Health Services, Center for Health Statistics (CDHS) uniquement pour les résidents décédés dans leurs comtés de résidence. Pour la mortalité cardio-vasculaire les informations sur le sexe, la couleur de peau ou l'ethnie (Blancs, Noirs, Hispaniques), le niveau scolaire (cursus du lycée achevé ou non) ont aussi été recueillies.

Des données de spéciation chimique et de masse des $PM_{2,5}$ ont été obtenues pour la période de 2000 à 2003 auprès du CARB. Les données portent sur 19 composés : carbone élémentaire et organique (CE et CO), nitrates, sulfates (SO_4), et divers métaux (aluminium, brome, calcium, chlore, cuivre, fer, potassium, manganèse, nickel, plomb, soufre, silicium, titane, vanadium et zinc). Les prélèvements ont été réalisés au moyen de préleveurs Speciation Air Sampling Systems. Chaque comté disposait de deux appareils mesurant la composition et la masse des $PM_{2,5}$, implantés soit à proximité (moins de 4 mètres) l'un de l'autre dans trois comtés, soit à distance pour les autres. Les données sur 24 heures ont été relevées tous les 3 jours pour quatre comtés ou tous les 6 jours pour les autres. Ainsi pour les analyses chimiques, le nombre de jours disponibles variait de 243 à 395. La masse de particules $PM_{2,5}$ a également été étudiée sur un échantillon de données plus grand (1999 à 2003) en utilisant tous les appareils de mesure disponibles pour neuf comtés de Californie.

Afin d'obtenir une concentration journalière pour chaque polluant par comté, en cas de valeur manquante pour l'un des deux appareils, les valeurs manquantes ont été remplacées selon la méthode développée par Wong (2001). Les jours où aucune donnée pour un polluant donné n'était disponible dans le comté restent manquants.

L'analyse statistique, fondée sur la méthode des séries temporelles, est réalisée à partir d'une régression de Poisson en ajustant sur la tendance à long terme, la saisonnalité, la météorologie (température et humidité de la veille) et le jour de la semaine. Les modèles ont été réalisés pour chaque comté, et les risques ont été estimés pour des délais allant de 0 à 3 jours entre l'exposition et le décès. Les résultats ont ensuite été combinés pour l'ensemble des six comtés. Les analyses ont aussi été réalisées par saison (été et hiver). Enfin les analyses de la mortalité cardio-vasculaire ont été réalisées en stratifiant par genre, ethnie et niveau d'instruction. Des tests statistiques ont ensuite été appliqués pour estimer les différences entre les strates.

Résultats

Sur la période d'étude, le nombre moyen journalier de décès variait de 11 à 50 décès selon les causes de décès et le comté considéré. Les concentrations journalières en $PM_{2,5}$ variaient entre $12,6 \mu g/m^3$ et $27,1 \mu g/m^3$ selon le comté.

Les quatre composants qui contribuaient le plus à la masse des $PM_{2,5}$ étaient le carbone élémentaire et organique, les nitrates et les sulfates, et constituaient approximativement 5 %, 37 %, 28 % et 10 % de la masse totale des $PM_{2,5}$, respectivement.

Les résultats suggèrent des associations entre la mortalité et la concentration massique en $PM_{2,5}$ et certains composants : carbone organique, NO^3 , cuivre, potassium, titane et zinc. Les associations les plus fortes ont été observées avec la mortalité pour causes cardio-vasculaires et parmi les personnes âgées de 65 ans et plus particulièrement avec le zinc et le carbone élémentaire. Les associations observées sont aussi plus fortes et plus souvent significatives pendant la période hivernale quand les niveaux de la plupart des composants sont les plus élevés. Ainsi pour l'analyse sur les neuf comtés, les associations avec les $PM_{2,5}$ en masse en hiver sont toutes significatives quel que soit l'indicateur de mortalité et le retard étudiés.

La seconde étude montre qu'il existe une modification des effets sur la mortalité cardio-vasculaire selon plusieurs caractéristiques démographiques, y compris l'appartenance ethnique et le niveau d'instruction. Il n'est pas observé de différence significative entre les hommes et les femmes. Par contre, pour la plupart des composés, les excès de risque sont significativement plus importants pour la sous-population ayant un niveau d'éducation faible ou étant d'ethnie hispanique. Par exemple, tandis qu'essentiellement aucune association n'a été observée pour les individus d'un niveau scolaire élevé, une augmentation d'un interquartile de plusieurs des composants des $PM_{2,5}$ a été associée à une augmentation de 3 à 5 % de la mortalité quotidienne parmi les personnes de niveau scolaire faible.

Discussion et conclusions des auteurs

Plusieurs analyses de sensibilité ont été conduites sur le traitement des données manquantes des polluants, le lissage de la tendance à long terme et saisonnière et, enfin, l'introduction dans les modèles des données météorologiques (sans ou avec décalage d'un jour). Les résultats ne semblent pas varier de façon importante. Par contre les résultats sont très sensibles au décalage entre exposition et survenue du décès pris en compte. La plupart des associations observées concernent le décalage d'1 jour, en cohérence avec la littérature. Cependant les auteurs restent prudents quand à l'interprétation des résultats notamment concernant les différences entre les retards. Les données de pollution

étant mesurées tous les 3 jours, les décalages de 0 et 3 jours se réfèrent généralement à la même donnée de mortalité. Le faible nombre de données analysées entraîne une forte variabilité stochastique et une faible puissance statistique.

Selon les auteurs, la différence de résultats entre la saison hivernale et estivale est liée aux concentrations plus élevées pour la plupart des composés en hiver, elles-mêmes liées à des variations saisonnières en termes de sources d'émission (chauffage résidentiel au bois), de chimie particulaire, de météorologie, ainsi que d'exposition (ouverture des fenêtres en hiver contrairement à l'été où la climatisation fonctionne...). Cependant ces résultats ne sont pas cohérents avec une étude de Peng et coll. dans 100 villes américaines qui montre un effet plus important des PM₁₀ l'été.

Plusieurs études récentes soutiennent la plausibilité biologique d'une liaison entre l'exposition au carbone élémentaire et organique et les exacerbations de maladies cardio-vasculaires.

Les résultats sont cohérents avec ceux de la littérature concernant les effets des composants des particules, notamment les polluants primaires ou secondaires émis par la combustion des produits fossiles sur la mortalité cardio-vasculaire. Cependant les auteurs précisent qu'ils n'ont pas pu effectuer d'analyses en fonction de la source de pollution, même si certains polluants sont plus ou moins spécifiques de certaines sources. De plus, l'effet observé pour un polluant peut refléter son propre effet toxique, mais aussi ceux d'autres polluants dont les niveaux sont fortement corrélés.

A quelques exceptions, d'autres études montrent aussi une différence d'effet de la pollution en fonction du niveau d'instruction et notamment des excès de risque de décès plus importants chez les personnes ayant un faible statut socio-économique. Bien que le ou les facteurs de risque spécifiques ne soient pas connus, les auteurs avancent comme hypothèses une alimentation de mauvaise qualité, une différence d'exposition ou la prévalence de cofacteurs liés à la pauvreté comme l'accès aux soins.

Concernant les limites de leurs données, les auteurs précisent que, d'une part, le fait de n'avoir qu'une seule localisation des stations de mesure pour plusieurs comtés a pu entraîner des erreurs d'évaluation de l'exposition, donc potentiellement biaiser les résultats. D'autre part, les données n'étant pas disponibles quotidiennement, les effets d'une exposition cumulée sur plusieurs jours n'ont pu être estimés, et ces effets sont souvent plus importants que ceux attribuables à l'exposition retardée sur un seul jour.

Concernant les analyses par catégories socio-démographiques, compte tenu du faible nombre de données pour certaines catégories, l'interprétation des résultats doit rester prudente.

Les auteurs concluent de leur étude que les résultats soutiennent l'hypothèse que la pollution émise par les

moteurs des véhicules et d'autres sources de combustion, y compris la combustion résidentielle du bois, peuvent entraîner des effets sur la mortalité, et que l'utilisation de coefficients de régression basés uniquement sur la masse de PM_{2,5} peut sous-estimer les effets de certains de ses composants spécifiques. Les résultats suggèrent aussi la possibilité d'une sensibilité accrue aux PM_{2,5} chez des sous-populations spécifiques, notamment pour les personnes ayant un niveau d'éducation plus faible et pour les hispaniques.

■ Commentaires et conclusions des analystes

Ces deux publications, réalisées dans le cadre de CALFINE sont intéressantes car elles font partie des rares études ayant analysé l'effet de nombreux composants des PM_{2,5}. De plus, CALFINE est une étude multicentrique, ceci permet d'augmenter la puissance statistique de l'étude et de prendre en compte la diversité socio-démographique et des niveaux de pollution rencontrés en Californie.

On peut cependant déplorer le faible nombre de données disponibles concernant la spéciation des PM_{2,5} du fait de mesures effectuées au mieux tous les trois jours. Ceci est une des principales limites de ces études et entraîne beaucoup d'incertitudes dans les résultats.

D'une manière générale, la partie concernant les mesures de pollution aurait pu être plus détaillée. Notamment, les deux publications manquent de précision quant aux techniques employées et à la représentativité des sites de prélèvement. Le débit de prélèvement n'est pas précisé, mais sur le type d'appareil utilisé dans cette étude, il est généralement de 6,7 litres/minute, ce qui semble faible pour des prélèvements sur 24 heures. Une faible masse de particules prélevée augmente le risque d'avoir des espèces en-dessous du seuil de détection et les incertitudes sur les résultats analytiques. Les auteurs précisent d'ailleurs qu'ils ne considèrent que les espèces pour lesquelles au moins 50 % des résultats sont supérieurs au seuil de détection. Cependant, l'analyse a quand même pu porter sur de nombreux composés.

De plus, il n'y a aucune indication sur les techniques analytiques mises en œuvre, qui ont pourtant une grande importance, en particulier pour les analyses des espèces carbonées. Les résultats concernant le carbone élémentaire et organique peuvent en effet être sensiblement différents selon les méthodes analytiques utilisées, et ainsi cette connaissance est nécessaire pour pouvoir effectuer des comparaisons avec d'autres études.

Il n'y a aucune indication sur les typologies des sites de mesure et leur représentativité :

- Compte-tenu des niveaux mesurés (notamment des valeurs du 95^{ème} percentile), on peut penser qu'il s'agit de sites urbains. On note néanmoins des différences

significatives entre les sites de mesure, puisque les moyennes sont comprises entre 12,6 et 27,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mais aucune explication n'est fournie à ce sujet par les auteurs. Il y a également peu d'informations sur les variations des concentrations observées. On notera que les pourcentages des différents composés diffèrent de ceux habituellement rencontrés en sites urbains en France. En particulier, la masse de carbone organique est plus forte.

- Le problème de représentativité des stations, du fait du faible nombre de sites de mesure pour des comtés pouvant avoir des territoires étendus et des densités de population inhomogènes, est d'autant plus important. On peut donc supposer que la pollution atmosphérique n'est pas homogène sur tout le territoire d'un comté.

Outre l'absence d'informations sur les techniques analytiques employées, les moyennes sont effectuées sur des concentrations très agrégées (sur 4 ans) et un nombre de données différent selon les espèces chimiques. Il est donc difficile d'en déduire un profil de composition moyen sur la période. Ainsi, la comparaison, réalisée par les auteurs dans les deux articles, des moyennes sur la période 2000-2003 aux valeurs réglementaires américaines est très discutable, compte-tenu du faible nombre d'observations (350 en moyenne sur une période de quatre ans).

Il aurait également été très intéressant d'associer des mesures de polluants gazeux, qui auraient pu notamment amener des informations sur les sources de particules.

La méthode d'analyse statistique repose sur une régression de Poisson qui est la méthode la plus classiquement utilisée dans les études épidémiologiques des effets à court terme. Les analyses de sensibilité réalisées montrent que les résultats sont stables. Il est cependant dommage que des analyses sur des expositions cumulées n'aient pu être réalisées, ce qui serait plus pertinent.

Les intervalles de confiance sont très importants dès que les auteurs étudient plus spécifiquement les effets en fonction des catégories socio-démographiques. Comme ils le soulignent, les résultats sont donc à interpréter avec une grande prudence.

En conclusion, malgré leurs limites, notamment le manque de puissance statistique, ces études contribuent de façon importante à la connaissance des effets spécifiques des composants des $\text{PM}_{2,5}$. Cependant, il serait nécessaire de poursuivre ce travail avec des données de pollution particulaire plus nombreuses et de les coupler avec des mesures de polluants gazeux afin de mieux cibler les différents types de sources de pollution.