

Courbe exposition-réponse du risque de mortalité par l'ozone et pertinence des niveaux réglementaires actuels

The exposure-response curve for ozone and risk of mortality and the adequacy of current ozone regulations

Bell ML, Peng RD, Dominici F.

Environ. Health Perspect. 2006; 114:532-6.

Analyse commentée par

Edouard Chatignoux¹ et Yvon Le Moullec²

¹Observatoire régional de santé d'Ile-de-France, Paris

²Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris, Paris

■ Contexte

L'ozone troposphérique (O₃) est un polluant couramment rencontré dans les zones urbaines, dont l'impact sur la morbidité respiratoire et sur la mortalité prématurée a été démontré par de nombreuses études. Néanmoins peu d'éléments de réponse existent sur la nocivité de l'ozone à de faibles concentrations et, de ce fait, sur la pertinence des seuils réglementaires en vigueur. Cette étude, réalisée à partir de données de séries temporelles de l'étude américaine NMMAPS (National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study), a pour but d'estimer la forme de la relation exposition-réponse entre ozone et mortalité.

■ Résumé de l'étude

Objectifs

Cette étude cherche à estimer la forme de la relation dose-réponse entre teneurs en ozone et mortalité et vise, en particulier, à déterminer s'il existe un seuil de concentration atmosphérique en deçà duquel les effets de l'ozone sur la mortalité ne sont plus perceptibles.

Matériels et méthodes

Des analyses écologiques de séries temporelles ont été conduites dans 98 villes américaines couvrant ainsi plus de 40 % de la population des Etats-Unis. Elles portent sur l'ensemble des décès hors causes accidentelles survenus dans chacune des villes de l'étude entre 1987 et 2000. Le nombre quotidien de décès est réparti par tranche d'âge (<65, 65-74 et ≥ 75 ans).

Pour chaque ville, les niveaux d'exposition à O₃ sont estimés par la moyenne des concentrations du jour et de la veille mesurées par les stations des réseaux de surveillance. Pour un jour donné, les 10 % des stations ayant les valeurs les plus extrêmes ne sont pas prises

en compte. Les analyseurs utilisés fournissent des données horaires, mais le principe de mesure mis en oeuvre n'est pas précisé.

Analyse statistique

L'estimation du risque de mortalité dû à l'ozone se fait en utilisant un modèle hiérarchique bayésien. Au premier niveau, les liens entre les niveaux d'ozone et les taux de mortalité sont estimés dans chaque ville par un modèle de séries chronologiques de Poisson ajusté sur le jour de la semaine, la température ambiante et celle du point de rosée. La tendance et la saisonnalité sont prises en compte pour chaque classe d'âge par une fonction spline paramétrique (spline naturelle) à 7 degrés de liberté par an. La manière de modéliser les facteurs de confusion (forme non linéaire et décalage temporel des températures) est justifiée par des études antérieures de robustesse menées sur les mêmes données. Au second niveau, les risques relatifs spécifiques de chaque ville sont combinés dans un modèle normal-normal utilisant une loi *a priori* non informative.

Les auteurs utilisent quatre stratégies différentes pour introduire les niveaux d'ozone dans le modèle et tester ainsi l'existence d'un seuil de protection sanitaire.

Dans un premier temps, les niveaux d'O₃ sont introduits de manière linéaire pour l'ensemble des jours de l'étude. C'est l'approche utilisée dans la majorité des études s'intéressant au lien entre pollution atmosphérique et santé.

Dans un second temps, la même relation linéaire est estimée pour des sous-groupes de données correspondant aux jours pour lesquels les indicateurs de concentration d'O₃ sont inférieurs à un certain seuil. Les auteurs utilisent un premier jeu de seuils variant entre 10 et 120 µg/m³ et un second correspondant aux seuils réglementaires (ou recommandés) définis par différentes organisations (US EPA, OMS, UE...). Cette approche par sous-groupe vise à mettre en évidence une valeur seuil en deçà de laquelle les effets de l'O₃ sur la mortalité ne sont pas observés et à évaluer, en conséquence, la pertinence sanitaire des seuils réglementaires en vigueur.

Dans un troisième temps, les auteurs utilisent un modèle linéaire à seuil et ils font varier le seuil entre 10 et 120 µg/m³ : si la relation entre ozone et mortalité est linéaire seulement à partir d'un certain seuil, alors ce modèle s'ajustera mieux aux données qu'un modèle linéaire sans seuil. Ils comparent la qualité des modèles obtenus à l'aide du critère d'Akaike afin de mettre en évidence l'existence d'un seuil et de déterminer sa valeur.

La quatrième et dernière approche consiste à introduire les niveaux d'O₃ de manière non linéaire dans le modèle à l'aide d'une fonction spline naturelle cubique à 3 degrés de liberté. La forme de la courbe dose-réponse

doit permettre de mettre en évidence l'existence d'un seuil de protection.

Résultats

Les auteurs trouvent des associations significatives entre ozone et mortalité pour l'ensemble des 98 agglomérations retenues. Pour le modèle linéaire, une augmentation de 20 µg/m³ des niveaux moyens d'O₃ du jour et de la veille est associée à une hausse de 0,32 % [0,17 ; 0,46 %] de la mortalité. L'excès de risque est moins important si on utilise des indicateurs de pollution pour un jour unique (de 0 à 3 jours avant le décès). Par ailleurs, les auteurs n'observent pas de lien entre les excès de risque mesurés dans les villes et les niveaux moyens d'O₃ mesurés sur une longue période (association testée par des corrélations et une méta-régression).

En ce qui concerne l'approche par sous-groupes de jours pour lesquels les niveaux d'O₃ sont inférieurs à un seuil, des excès de risque significatifs (entre 0,25 et 0,32 %) sont observés pour une hausse de 20 µg/m³ des niveaux d'O₃ pour les jours qui respectent les valeurs des seuils réglementaires. Ces seuils sont de ce fait insuffisants pour assurer une protection des populations vis-à-vis de la pollution par l'ozone. L'étude systématique des seuils entre 10 et 120 µg/m³ montrent que les excès de risque sont non significatifs pour les jours avec des niveaux d'O₃ inférieurs à 20 µg/m³, positifs et significatifs pour les jours avec des seuils compris entre 30 et 70 µg/m³, et qu'ils sont comparables à ceux retrouvés avec l'intégralité des données pour les jours avec des seuils variant de 70 et 120 µg/m³. Au final, 20 µg/m³ (en moyenne sur le jour et la veille) apparaît comme un seuil protecteur, même si les auteurs attirent l'attention sur le manque de puissance statistique disponible pour le calcul de cet excès de risque, des niveaux aussi faibles d'O₃ étant rarement rencontrés dans les villes de l'étude (seules 29 % des données jours*villes de l'étude présentent des niveaux inférieurs à 40 µg/m³, par exemple).

De même, la prise en compte d'un seuil dans la modélisation linéaire ne permet d'améliorer que très marginalement la qualité des modèles, et il est donc peu probable qu'un seuil protecteur existe au delà de très faibles concentrations d'O₃.

Enfin, l'approche par une fonction spline naturelle cubique montre que la courbe exposition-risque est quasiment horizontale pour les concentrations d'O₃ inférieures à 20 µg/m³, et qu'elle devient approximativement linéaire pour les concentrations supérieures.

Discussion et conclusions des auteurs

Cet article montre que les niveaux d'ozone sont associés à une mortalité prématurée et ce, même à des concentrations faibles, en deçà des valeurs

réglementaires en vigueur. L'association est retrouvée pour des niveaux proches des niveaux de fond, ce qui suggère que toute production d'ozone accroît le risque de mortalité prématurée.

Cette étude multicentrique ne permet pas de mettre en évidence l'existence d'un seuil de sécurité des niveaux d'ozone à un niveau supérieur aux valeurs de fond, ce qui a déjà été rapporté par différentes études limitées à une seule ville, notamment en Corée et aux Pays-Bas.

En conséquence, les niveaux d'ozone inférieurs aux seuils réglementaires ne doivent pas être interprétés comme sans effet sur la santé humaine, et tout effort entrepris pour diminuer les niveaux d'ozone est susceptible d'engendrer des bénéfices sanitaires non négligeables, même dans les zones géographiques où les valeurs réglementaires sont respectées.

■ Commentaires et conclusions des analystes

Ce travail est intéressant par le fait qu'il conduit au calcul de courbes dose-réponse selon des domaines de

variations des teneurs en ozone plus ou moins étendus. Les stratégies d'analyses utilisées, bien qu'assez redondantes entre elles, permettent de tester simplement le caractère protecteur de différentes valeurs seuils (et en particulier les seuils réglementaires). Par ailleurs, la robustesse des résultats renforce les conclusions des auteurs qui montrent que, pour l'ozone, si un seuil de sécurité existe, il est très proche des valeurs de fond atmosphériques. On regrettera néanmoins que les données par classes d'âge n'aient été utilisées que pour bien prendre en compte la tendance et la saisonnalité des séries. Il aurait, en effet, été intéressant de voir si la forme de la courbe dose-réponse était la même pour des populations plus sensibles aux effets de la pollution atmosphérique que la population générale, comme les personnes âgées par exemple.

Au plan métrologique, les informations sont très succinctes, mais du fait qu'il s'agit de données des réseaux de surveillance de la qualité de l'air des différents Etats, on peut penser qu'il s'agit des mesures classiques par analyseur fonctionnant sur le principe de l'absorption dans l'ultraviolet.