

# Influence de la saison et des épisodes de fortes chaleurs sur les liens entre ozone, particules et mortalité dans neuf villes françaises

Mathilde Pascal, Grégoire Falq, Véréne Wagner, Magali Corso, Christophe Declercq, Département santé environnement, Institut de veille sanitaire  
Edouard Chatignoux, Observatoire régional de la santé Ile-de-France

## 1. INTRODUCTION

Depuis 1997, le Programme de surveillance air et santé (Psas) de l'Institut de veille sanitaire (InVS) quantifie les impacts à court-terme de la pollution atmosphérique urbaine. Il s'appuie pour cela sur des analyses de séries temporelles suivant un protocole commun dans neuf zones urbaines françaises : Lille, Le Havre, Rouen, Paris, Strasbourg, Bordeaux, Lyon, Toulouse et Marseille (figure 1).

Les résultats des précédentes études du Psas sur les liens entre ozone, particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>), mortalité [1,2], et admissions hospitalières [1] contribuent à une abondante littérature sur les impacts à court terme de la pollution atmosphérique urbaine.

| FIGURE 1 |

### Villes participant au Programme de surveillance air et santé (Psas) en 2011



Jusqu'à présent, les analyses menées dans le cadre du Psas avaient mesuré des associations moyennes, sur toute l'année, entre les expositions aux polluants de l'air extérieur et des indicateurs sanitaires, à l'exception de l'ozone, pour lequel les analyses étaient restreintes aux périodes chaudes. Or, plusieurs facteurs pourraient modifier l'impact de la pollution

atmosphérique selon la saison et la température. L'ozone présente un profil saisonnier marqué avec des concentrations plus élevées en été. Si le profil saisonnier est moins marqué pour les particules en masse, les sources de pollution particulières, et donc la composition chimique des particules, varient selon la saison. De plus, l'exposition pourrait être différente selon les saisons, avec un temps passé à l'extérieur plus faible en hiver et plus important en été.

Enfin, s'il n'a pas été montré d'interaction entre les effets des températures et de l'ozone pendant la vague de chaleur de 2003, les résultats contrastés selon les villes (part de l'ozone minoritaire dans le risque observé à Paris, Lyon, Bordeaux et Rouen, mais majoritaire à Strasbourg et Toulouse, et comparable à la part de la température dans les autres villes) [2] appellent une analyse approfondie des liens entre pollution, saisons, et épisodes de fortes chaleur.

C'est pourquoi cette nouvelle étude du Psas s'est attachée, d'une part, à mettre à jour les relations entre ozone, particules fines (PM<sub>10</sub>) et mortalité par causes, et d'autre part, à explorer l'influence de la saison et des épisodes de fortes températures sur la relation entre polluants et mortalité. Dans cette perspective, cette étude s'est également attachée à estimer l'impact à court-terme des températures (effet de la chaleur et effet du froid) sur la mortalité.

## 2. MÉTHODE

L'étude porte sur la période 1998-2006 pour l'ozone, et 2000-2006 pour les particules. Août 2003 a été exclu de la période d'étude, afin d'éviter un biais possible lié à la vague de chaleur de 2003.

Les concentrations journalières de polluants ont été obtenues auprès des Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa), les données quotidiennes de températures auprès de Météo-France pour une station de référence par ville.

La mortalité journalière a été obtenue auprès du Cépidec, en distinguant deux classes d'âges ; 00-74 ans et >74 ans. Les causes retenues étaient la mortalité non-accidentelle (CIM10 = A00-R99), cardiovasculaire (CIM10 : I00-I99), ischémique (CIM10 : I20-I25), cardiaque (CIM10 : I00-I52), cérébrovasculaire (CIM10 : I60-I68 + G45-G46) et respiratoire (CIM10 : J00-J99).

Les liens entre polluants et mortalité ont été analysés dans chaque ville à l'aide de modèles additifs généralisés (GAM), selon la méthode utilisée dans les précédentes études du Psas [2,3]. Ces modèles prennent en compte les variations saisonnières de la mortalité, la tendance à long-terme, et l'influence des jours de la semaine et des jours fériés. Le polluant était introduit dans le modèle comme un terme linéaire moyenné sur le jour même et la veille (lag 0-1). Des tests ont en effet confirmé que la relation était quasi-linéaire au-delà de 80 µg/m<sup>3</sup>.

Les modèles étaient contrôlés sur la température minimale, avec un terme non-linéaire (splines à trois degrés de liberté) pour le jour même (lag 0), et un terme non-linéaire prenant en compte la moyenne des températures maximales des sept jours précédents (lag 1-7). Une interaction entre polluants et jours très chauds, définis comme les jours où la température moyenne dépasse le 97<sup>e</sup> percentile de la distribution des températures, a également été étudiée.

Toutes les analyses ont été réalisées pour l'année entière et par saison (hiver : décembre - février, printemps : mars-mai, été : juin-août, automne : septembre-novembre). Ces différents modèles servent à estimer le pourcentage d'augmentation de la mortalité associé à une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de la concentration en polluant dans chaque ville. Pour tous ces risques, une méta-analyse permet d'obtenir un risque global [4,5].

Afin de tester la robustesse des résultats, plusieurs analyses de sensibilité ont été menées (choix du terme de températures, choix des méthodes statistiques, ajustement bi-polluants...).

### 3. RÉSULTATS

Les neuf villes totalisent plus de 12 millions d'habitants et près de 725 000 décès sur la période 1998-2006. Le nombre de décès varie de 6 par jour en moyenne au Havre, à 110 à Paris. La mortalité cardiovasculaire représente environ 50 % de la mortalité totale non-accidentelle. Les températures et les concentrations de polluants sont relativement contrastées entre les villes. Les concentrations moyennes journalières de PM<sub>10</sub> varient de 20,4 µg/m<sup>3</sup> au Havre à 27,3 µg/m<sup>3</sup> à Marseille.

Les maximums d'ozone sur 8 heures pendant l'été varient de 163,1 µg/m<sup>3</sup> à Bordeaux à 216,4 µg/m<sup>3</sup> à Paris.

#### Effets de l'ozone et des PM<sub>10</sub> sur la mortalité par cause

Pour l'année entière, une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des concentrations en ozone se traduit par une augmentation de +0,6 % [0,4 ; 0,8] de la mortalité totale. Des effets d'ordre de grandeur similaire sont retrouvés pour les causes cardiovasculaires, cardiaques et ischémiques (tableau 1).

Une élévation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux de PM<sub>10</sub> se traduit par une augmentation de +0,8 % [0,2 ; 1,5] de la mortalité totale. Un effet similaire est retrouvé pour la mortalité cardiovasculaire uniquement (tableau 1).

#### Influence de la saison sur l'effet du polluant

L'analyse par saison montre un effet plus important de l'ozone et des PM<sub>10</sub> en été pour la mortalité totale et pour les causes cardiovasculaires et cardiaques (figures 2 et 3). Ainsi, en été une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> d'ozone se traduit par une augmentation de +1,3 % [1,0 ; 1,5] de la mortalité totale, +1,6 % [1,2 ; 2,1] pour la mortalité cardiovasculaire et +1,7 % [1,1 ; 2,2] pour la mortalité cardiaque. L'effet sur la mortalité par cardiopathie ischémique et par cause cérébrovasculaire est également plus important en été (respectivement +0,6 % [-0,8 ; 2,0] et +1,3 % [0,3 ; 2,2]). A l'inverse, aucune influence de la saison n'est notée pour la mortalité par causes respiratoires.

L'effet saisonnier est encore plus important pour les PM<sub>10</sub> (figure 3) : en été une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> se traduit par une augmentation de +3,9 % [2,8 ; 5,1] de la mortalité totale, +4,4 % [2,3 ; 6,5] pour la mortalité cardiovasculaire, +5,0 % [2,5 ; 7,6] pour la mortalité cardiaque et +5,7 % [1,7 ; 9,8] pour la mortalité ischémique. Aucune influence de la saison n'a par contre été observée pour les causes cérébrovasculaires et respiratoires.

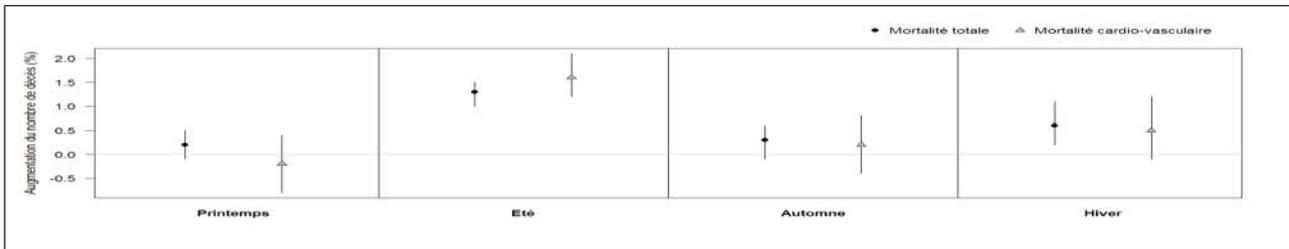
I TABLEAU 1 I

**Augmentation de la mortalité (% [IC95%]) associée à une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de la concentration du polluant – analyse pour l'année entière**

	Mortalité totale non-accidentelle	Mortalité cardio vasculaire	Mortalité cardiaque	Mortalité par cardiopathie ischémique	Mortalité cérébrovasculaire	Mortalité respiratoire
<b>Ozone</b>	0,6 [0,4 ; 0,8]	0,7 [0,4 ; 1,0]	0,8 [0,5 ; 1,1]	0,7 [0,2 ; 1,2]	0,6 [0,0 ; 1,2]	0,4 [-0,3 ; 1,0]
<b>PM<sub>10</sub></b>	0,8 [0,2 ; 1,5]	0,9 [0,2 ; 1,7]	0,9 [0,0 ; 1,8]	0,8 [-0,4 ; 2,0]	1,5 [-0,1 ; 3,1]	-0,5 [-1,9 ; 0,9]

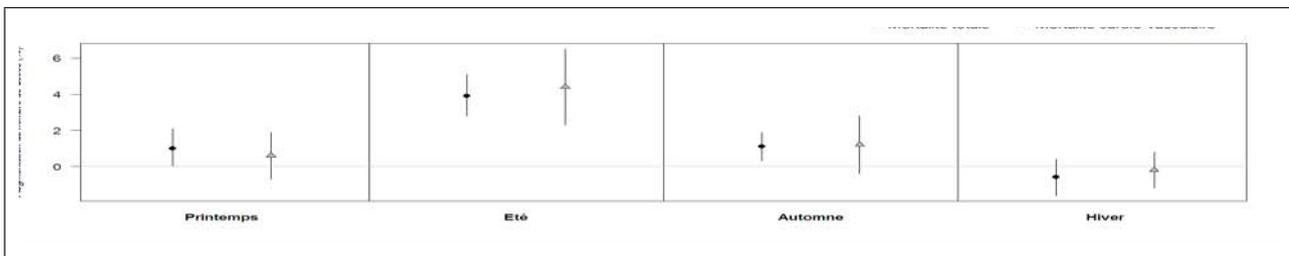
I FIGURE 2 I

**Augmentation de la mortalité totale et cardiovasculaire (% [IC95%]) associée à une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de la concentration d’ozone – analyse par saison**



I FIGURE 3 I

**Augmentation de la mortalité totale et cardiovasculaire (% [IC95%]) associée à une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de la concentration de PM<sub>10</sub> – analyse par saison**



**Influence des jours très chauds sur l’effet du polluant**

Pendant les jours très chauds (température moyenne >97<sup>e</sup> percentile de la distribution des températures), une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux d’ozone se traduit par une augmentation de 1,9 % [1,1 ; 2,6] de la mortalité totale, contre +0,5 % [0,3 ; 0,6] pour les autres jours. Cette différence est significative et indique une interaction entre l’ozone et les jours très chauds. De nouveau, les résultats obtenus pour les causes cardiovasculaires et cardiaques sont similaires.

L’effet des jours très chauds est moins net pour les PM<sub>10</sub>, avec une différence non-significative (respectivement +2,2 % [-1,4 ; 5,8] pour les jours très chauds et +0,8 % [0,1 ; 1,4] pour les autres jours).

**Impact de la température sur la mortalité**

Ces modèles ont également permis d’estimer l’augmentation de la mortalité à court-terme lorsque la température moyenne du jour passe du 90<sup>e</sup> au 99<sup>e</sup> percentile de la distribution des températures (effet de la chaleur) et du 10<sup>e</sup> au 1<sup>er</sup> percentile de la distribution des températures (effet du froid).

La méta-analyse montre qu’une augmentation importante et significative de la mortalité totale est associée à une augmentation de la température moyenne du 90<sup>e</sup> au 99<sup>e</sup> percentile de la distribution des températures; +3,9 % [1,9 ; 5,9] chez les 15-74 ans, et de +8,4 % [5,1 ; 11,8] chez les

75 ans et plus. A l’inverse, l’impact d’une baisse de la température moyenne du 10<sup>e</sup> au 1<sup>er</sup> percentile des températures a un impact moyen modéré et similaire pour les deux classes d’âges (+1,7 % [-0,1 ; 3,5] et +2,0 % [0,5 ; 3,6] respectivement).

**4. DISCUSSION**

Cette nouvelle étude retrouve une relation entre ozone et mortalité totale pour l’année entière légèrement plus élevée que celle issue de l’étude européenne Apeha (+0,3 % [0,2 ; 0,5]) [6] et de l’ordre de grandeur de l’étude EpiAir en Italie (+0,7 % [0,2 ; 1,2]) [7]. De même, la relation entre PM<sub>10</sub> et la mortalité non-accidentelle est cohérente avec les estimations proposées par la méta-analyse de l’Organisation mondiale de la santé (+0,6 % [0,4 ; 0,8]) [8] et par EpiAir, mais est légèrement plus élevée que celle retrouvée dans les analyses du projet Aphenia [9]. Ces nouveaux risques relatifs pour l’année entière peuvent donc être utilisés pour mener des analyses de sensibilité dans les évaluations d’impacts sanitaires, en accord avec les guides développés par l’InVS.

Les analyses par saison montrent un effet plus important des polluants, en particulier des PM<sub>10</sub>, pendant l’été, pour la mortalité totale et les causes cardiaques. Des risques plus élevés sont également observés pendant les jours très chauds, avec une interaction significative dans le cas de l’ozone. L’influence de la saison et de la température est plus marquée pour la mortalité cardiovasculaire et cardiaque, et dans une moindre mesure la mortalité par cardiopathie ischémique et de cause cérébrovasculaire. L’ensemble de ces résultats est conforté par les différentes analyses de sensibilité.

Ces analyses ne permettent pas d'expliquer les causes de l'effet des polluants plus important retrouvé en été et pendant les jours les plus chauds ; effets conjoints avec la température, composition de la pollution différente, exposition différente ou mieux évaluée par les stations ambiantes de mesure l'été...

Les estimations des effets de la chaleur et du froid sur la mortalité sont également cohérents avec la littérature, à savoir un effet rapide de la chaleur sur la mortalité [10], et un effet du froid plus modéré, et probablement plus étendu dans le temps [11]. Les effets de la chaleur retrouvés pour la France sont plus élevés que ceux trouvés aux Etats-Unis [11]. Ceci pourrait refléter entre autre une plus grande vulnérabilité des villes françaises à la chaleur (moins utilisation de la climatisation, centres villes plus concentrés avec des îlots de chaleur conséquents).

Dans les années à venir, du fait du changement climatique, on peut s'attendre à une augmentation de la fréquence des jours présentant des niveaux importants d'ozone, associés à des températures élevées [12,13], à l'image de ce qui s'est produit pendant la vague de chaleur de 2003. Les évolutions à venir des niveaux de fond d'ozone et de PM<sub>10</sub> sont moins claires, du fait d'influences opposées de différents paramètres climatiques sur les sources de pollution et sur la chimie atmosphérique. Cependant, ces nouveaux résultats confirment l'importance d'agir pour diminuer les niveaux de pollution atmosphérique urbaine.

## 5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Larrieu S, Jusot JF, Blanchard M, Prouvost H, Declercq C, Fabre P, *et al.* Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities: the PSAS program. *Sci Total Environ* 2007;387(1-3):105-12.
- [2] Filleul L, Cassadou S, Medina S, Fabres P, Lefranc A, Eilstein D, *et al.* The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. *Environ Health Perspect* 2006;114(9):1344-7.
- [3] Touloumi G, Samoli E, Pipikou M, Le TA, Atkinson R, Katsouyanni K. Seasonal confounding in air pollution and health time-series studies: effect on air pollution effect estimates. *Stat Med* 2006;25(24):4164-78.
- [4] DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Control Clin Trials* 1986;7(3):177-88.
- [5] Jackson D, White IR, Thompson SG. Extending DerSimonian and Laird's methodology to perform multivariate random effects meta-analyses. *Stat Med* 2010;29(12):1282-97.
- [6] Gryparis A, Forsberg B, Katsouyanni K, Analitis A, Touloumi G, Schwartz J, *et al.* Acute effects of ozone on mortality from the "air pollution and health: a European approach" project. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;170(10):1080-7.
- [7] Stafoggia M, Faustini A, Rognoni M, Tessari R, Cadum E, Pacelli B, *et al.* [Air pollution and mortality in ten Italian cities. Results of the EpiAir Project]. *Epidemiol Prev* 2009;33(6 Suppl 1):65-76.
- [8] Anderson HR, Atkinson R, Peacock JL, Marston L, Konstantinou K. Meta-analysis of time series studies of particulate matter (PM) and ozone (O3). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2004. 80 p. [consulté le 28/09/2011] Disponible à partir de l'URL : [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/74731/e82792.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/74731/e82792.pdf)
- [9] Katsouyanni K, Samet JM, Anderson HR, Atkinson R, Le TA, Medina S, *et al.* Air pollution and health: a European and North American approach (APHENA). *Res Rep Health Eff Inst* 2009;(142)(142):5-90.
- [10] Basu R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environ Health* 2009;8:40
- [11] Anderson BG, Bell ML. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology* 2009;20(2):205-13.
- [12] Schär C, Vidale PL, Thi DL, Frei C, Häberli C, Liniger MA, *et al.* The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 2004;427:332-6.
- [13] Vautard R, Beekmann M, Desplat J, Hodzic A, Morel S. Air quality in Europe during the summer of 2003 as a prototype of air quality in a warmer climate. *C R Geoscience* 2007;339:747-63.

**Mots clés :** pollution de l'air, ozone, particule fine, mortalité, chaleur

Citation suggérée :

Pascal M, Falq G, Wagner V, Chatignoux E, Corso M, Declercq C. Influence de la saison et des épisodes de fortes chaleurs sur les liens entre ozone, particules et mortalité dans neuf villes françaises. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2012. 4 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>