

# Analyse de l'impact sanitaire d'un épisode de pollution : retour d'expérience sur la surveillance syndromique lors de l'épisode de mars 2014 et difficultés méthodologiques

Sabine HOST,<sup>1</sup> Noëlla KARUSISI,<sup>2</sup> Marie FIORI,<sup>3</sup> Anne FOUILLET<sup>4</sup> et Céline CASERIO-SCHÖNEMANN<sup>5</sup>

## Résumé

Les études épidémiologiques menées depuis plusieurs décennies ont mis en évidence des relations à court et à long terme entre des indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique et des indicateurs de santé. Ces études ont notamment permis de démontrer que c'est l'exposition chronique à des concentrations moyennes de polluants atmosphériques qui pèse le plus en termes d'impact sanitaire, en intervenant dans le développement de diverses pathologies et en particulier des maladies cardio-respiratoires chroniques. À court terme, l'exposition à la pollution de l'air exacerbe les symptômes de pathologies (causées ou non par la pollution atmosphérique) et cela même en dehors de tout épisode ou « pic » de pollution de l'air. Toutefois, lorsque la population est confrontée

à un tel épisode, elle peut à la fois ressentir certains symptômes plus fortement que d'accoutumé (irritation des yeux, du nez et de la gorge, etc.), et manifester des questions et inquiétudes concernant l'impact sur la santé proprement lié à ces pics de pollution. Par ailleurs, ces situations entraînent le déclenchement d'une procédure d'information et de recommandation, ou d'une procédure d'alerte par les préfets. Ces mesures qui visent en particulier à agir sur les sources de pollution et les comportements des individus, *via*, par exemple, la diffusion de recommandations sanitaires<sup>6</sup>, ont pour but final de limiter l'impact sanitaire, notamment chez les personnes les plus fragiles (nourrissons et jeunes enfants, etc.). Or les répercussions sanitaires de ces épisodes de pollution sont difficiles à quantifier, et jusqu'à présent n'ont pas fait l'objet d'études en France.

## 1. Retour d'expérience sur l'épisode de mars 2014

### 1.1 Une surveillance syndromique renforcée

En France, suite aux conséquences sanitaires de la canicule de 2003, les dispositifs de veille et d'alerte sanitaires ont été renforcés avec pour objectif de développer une capacité à détecter de nouvelles menaces pour la santé publique, d'origines aussi diverses qu'un phénomène environnemental ou une pathologie infectieuse émergente. Il s'agit de la surveillance syndromique, basée sur le recueil et le suivi d'indicateurs de recours aux soins, analysés en temps réel ou proche du temps réel (Caserio-Schönemann *et al.*, 2014).

En mars 2014, la France a connu un épisode de pollution par les particules, remarquable de par sa durée (du 6 au 15 mars), son étendue géographique et son intensité. En effet, sur plus d'une semaine, des dépassements du seuil d'alerte<sup>7</sup> fixé pour les particules PM<sub>10</sub><sup>8</sup> ont été observés dans la plupart des régions métropolitaines, ainsi qu'au Royaume-Uni (Smith *et al.*, 2015). Si l'on considère les relations exposition-risque connues, les excès d'événements sanitaires attendus à ces niveaux d'exposition restent *a priori* faibles. Toutefois, lors de cet épisode, l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) a mis en place, en plus de la surveillance syndromique effectuée chaque jour en routine, un suivi spécifique de plusieurs indicateurs en lien possible avec la pollution atmosphérique afin de s'en assurer. Ainsi, outre les indicateurs d'activité globale remontés quotidiennement par les réseaux de surveillance coordonnée des services d'urgences (Oscour) et de médecine d'urgence de ville (SOS Méde-

cins), il a été instauré un suivi d'indicateurs relatifs à certaines pathologies respiratoires (asthme, dyspnée/insuffisance respiratoire aiguë, bronchite chronique) et cardio-vasculaires (insuffisance cardiaque, ischémie myocardique), ainsi que les malaises et les céphalées. Sur la base de ces éléments, des bulletins de situation ont été établis quotidiennement et communiqués aux autorités nationales et régionales.

Le bilan de cette surveillance montre qu'au niveau national et à l'échelle des régions métropolitaines hors région Ile-de-France, il n'a pas été mis en évidence d'évolution notable ni des passages aux services d'urgences hospitalières, ni des appels à SOS Médecins, en comparaison des valeurs observées sur la même période en 2013. Les éventuelles variations observées pour des pathologies possiblement liées à la pollution atmosphérique (asthme, bronchite chronique...) sont restées dans des valeurs attendues. Il est cependant à noter une incertitude pour certaines régions compte tenu de faibles effectifs.

À l'échelle de l'Ile-de-France, l'analyse réalisée par la Cellule de l'InVS en Régions (CIRE) Ile-de-France et Champagne-Ardenne a mis en évidence une augmentation modérée des recours aux urgences hospitalières pour des diagnostics d'asthme à compter du 14 mars 2014, avec un maximum le 20 mars où le niveau a atteint trois fois celui enregistré au début de l'épisode de pollution. Les motifs d'appels à SOS Médecins pour asthme ont également augmenté sur la période mais dans une moindre mesure.

## 1.2 Interprétation des résultats obtenus

De nombreux facteurs peuvent déclencher une crise d'asthme (phénomènes infectieux, allergènes...). Ainsi, il n'est pas possible d'attribuer l'augmentation des recours aux urgences pour asthme observée en mars 2014 en Ile-de-France au seul facteur pollution atmosphérique. Néanmoins, on peut supposer qu'une partie de cette augmentation était due à l'épisode de pollution par les particules. En effet, il est reconnu que l'exposition à court terme à la pollution atmosphérique favorise le déclenchement de crises d'asthme (Chatignoux et Host, 2013) chez les asthmatiques. Par ailleurs, les effets à court terme de la pollution de l'air sont généralement plus marqués chez les enfants qui représentent la classe d'âge majoritairement touchée lors de l'épisode de mars dernier.

Cependant, lors de cet épisode, la CIRE a établi, sur la base des données de surveillance aérobiologique du RNSA, que les Franciliens ont également été exposés à d'importantes quantités de pollens. Ainsi, l'augmentation observée des recours aux soins pour asthme pourrait être également liée à l'exposition aux pollens, de manière directe du fait de leur potentiel irritant respiratoire, mais aussi de manière indirecte avec des effets synergiques entre pollens et pollution atmosphérique. En effet, des études montrent que certains polluants chimiques peuvent moduler la réaction allergique de différentes manières : soit en abaissant le seuil de réactivité bronchique et/ou en accentuant l'irritation des muqueuses nasales ou oculaires chez les sujets sensibilisés, soit en modifiant l'allergénicité des grains de pollen, par modification de leur paroi et de leur contenu protéique<sup>9</sup>.

Les liens entre pollution atmosphérique et santé sont caractérisés par des risques individuels relativement faibles. À titre d'illustration, selon les résultats de l'étude menée par Chatignoux et Host (2013), il a été estimé que le dépassement des valeurs de qualité de l'air de l'OMS en PM<sub>2,5</sub> (concentrations inférieures à 10 µg/m<sup>3</sup>) était responsable annuellement d'une centaine de recours aux urgences pour asthme chez les enfants de 2 à 14 ans, répartis sur l'année entière. Seul un faible pourcentage de ces cas est attribuable aux épisodes de pollution. Ainsi, l'impact sanitaire sur une courte période, telle qu'un épisode de pollution, apparaît difficilement mesurable en temps réel ou quasi réel grâce aux outils classiques de surveillance syndromique basés sur le recours aux soins, même étendus à des indicateurs spécifiques. En effet, à ce jour, l'analyse en routine de ces indicateurs ne s'appuie pas sur des modèles statistiques prenant en compte les expositions à la pollution atmosphérique et les autres facteurs environnementaux. Une telle analyse pourrait en revanche être menée *a posteriori*, ce qui a été amorcé au sein de l'ORS Ile-de-France.

## 2. Réflexion sur la réponse épidémiologique en cas d'épisode de pollution

L'objectif de la réflexion menée par l'ORS Ile-de-France est de déterminer s'il existe un impact

sanitaire spécifique lié à l'exposition à des niveaux élevés de pollution sur une courte période. Plus précisément, le but est de tester l'hypothèse d'un effet différentiel potentiellement lié à l'exposition à des niveaux élevés de pollution atmosphérique, cumulés sur plusieurs jours.

Pour étudier cela, il est envisagé de transposer deux stratégies d'analyses développées, d'une part, au niveau national par une équipe de l'Inserm, dans le cadre du doctorat d'Anne Fouillet, pour évaluer la surmortalité liée aux vagues de chaleur, et appliquées par l'ORS Ile-de-France (Fouillet, 2007 ; Chatignoux *et al.*, 2009). D'autre part, il est envisagé d'utiliser la méthode développée par Alain Le Tertre dans le cadre du PSAS pour étudier l'impact de la canicule de l'été 2003 (Le Tertre *et al.*, 2006).

## 2.1 Démarche méthodologique

Il est envisagé de mener ce travail exploratoire sur les données de mortalité, qui sont *a priori* statistiquement plus robustes que les données de morbidité. Ainsi, l'objectif, dans un premier temps, serait de valider la transposabilité de la méthode d'estimation des risques de surmortalité liés aux vagues de chaleur à ceux liés aux épisodes de pollution particulaire. La méthode mise en œuvre a été développée dans le cas de la canicule, alors que les excès de décès observés durant ces périodes sont relativement importants. Or les risques de mortalité liés à l'exposition à court terme à la pollution atmosphérique urbaine étant très faibles, les excès de décès attendus sont *a priori* très faibles, même en cas d'épisodes de pollution atmosphérique particulièrement marqués tels qu'observés ponctuellement en Ile-de-France.

Ainsi, il pourrait être envisagé dans un second temps d'appliquer cette méthode à des indicateurs sanitaires plus sensibles aux effets de la pollution de l'air tels que les hospitalisations (Programme de médicalisation des systèmes d'information), les recours aux urgences (Oscour) ou encore les appels à SOS Médecins. Les indicateurs construits à partir de ces données peuvent présenter certaines limites en termes de spécificité (absence de distinction entre hospitalisations programmées et en urgence) et être soumis à certains biais (liés à l'offre de soin concernant les recours à SOS Médecins et aux urgences). Ainsi, faudra-t-il porter une attention particulière à la faisabilité et à la pertinence d'utiliser ces différents indicateurs.

Ces approches devraient permettre d'établir s'il existe une surmortalité liée aux épisodes de pollution à Paris et proche couronne, en comparant la mortalité observée pendant l'épisode à la mortalité attendue calculée sur la base de la mortalité observée pendant une période de référence. Le choix de cette période de référence, ainsi que la définition d'un épisode de pollution, constituent une première étape déterminante de cette démarche. Par ailleurs, le modèle développé par Fouillet *et al.* nécessite d'être adapté afin de permettre la prise en compte des facteurs de confusion tels que les comptes polliniques, les phénomènes épidémiques liés aux pathologies hivernales. Cette réflexion venant d'être initiée, ne sont présentées ici que quelques pistes de réflexion.

## 2.2 Zone et période d'étude

La zone d'étude est déterminée de telle sorte que les variations de l'exposition d'un jour à l'autre de la population à la pollution urbaine puissent y être considérées comme homogènes. Ainsi, la zone d'étude comprendra Paris et les trois départements de proche couronne (92, 93 et 94). La période d'étude s'étendra du 1<sup>er</sup> janvier 2007 au 31 décembre 2011.

## 2.3 Indicateur d'exposition à la pollution atmosphérique et définition d'un épisode de pollution

L'indicateur sera construit selon la méthode mise en œuvre dans les analyses de séries temporelles réalisées dans le cadre des précédentes études Erpurs (moyennes sur 24 h estimées à partir des niveaux mesurés sur les stations de fond situées à l'intérieur de la zone d'étude).

D'un point de vue épidémiologique, il n'est actuellement pas possible de mettre en évidence de seuil de niveau de particules en dessous duquel il n'y aurait pas d'effet sanitaire.

La définition d'un épisode de pollution répond à des critères réglementaires dans le cadre du déclenchement de procédures d'information et de recommandation, et d'alerte, qui sont pour l'Ile-de-France définis dans un arrêté inter-préfectoral<sup>10</sup> datant du 7 juillet 2014. Ces critères correspondent actuellement à des dépassements de seuils (respectivement d'information et de recommandation, et d'alerte) d'un ou plusieurs

polluants atmosphériques pour une superficie donnée ( $> 100 \text{ km}^2$ ) et/ou un pourcentage de la population potentiellement concernée ( $> 10 \%$ ). Intervient également la notion de persistance de l'épisode lorsqu'il est lié aux particules  $\text{PM}_{10}$  ( $\sim 4$  jours de dépassement consécutifs du seuil d'information et de recommandation). La combinaison de ces différents critères définit l'intensité de l'épisode de pollution et permet de définir des mesures proportionnées.

Dans le cadre de ce travail, un épisode de pollution pourrait correspondre au dépassement du seuil d'alerte pour les particules  $\text{PM}_{10}$  et/ou intégrer la notion de persistance pour des seuils moins élevés.

## **2.4 Stratégie 1 : utilisation du modèle développé par une équipe Inserm pour évaluer la surmortalité liée aux vagues de chaleur**

### **Construction du modèle et détermination de la période de référence**

Comme mentionné précédemment, ce travail exploratoire sera mené sur des données de mortalité.

Nous supposons que le nombre quotidien de décès survenus au cours de notre période d'étude suit une distribution de Poisson surdispersée. Or le nombre de décès observé un jour donné présente une forte corrélation avec le nombre de décès observé le jour qui précède. Il semble donc pertinent d'utiliser un modèle GEE (équations d'estimation généralisées) pour l'analyse temporelle, qui permet de tenir compte de la forte corrélation de la mortalité d'un jour sur l'autre dans les calculs de variance.

L'analyse spécifique d'un effet sanitaire (mortalité) pendant un épisode de pollution atmosphérique sera abordée à l'aide d'une approche comparative de la mortalité observée pendant l'épisode de pollution à la mortalité attendue sur la même période. La mortalité attendue doit être estimée sur une période de référence proche de l'épisode de pollution, afin de refléter au mieux le niveau général de mortalité de l'année. Le choix de la période de référence est une étape importante de ce travail et fait partie de la réflexion. Il est en effet nécessaire de choisir une période proche de l'épisode de pollution en s'affranchis-

sant des excès de mortalité liés à d'autres événements (épidémies hivernales, périodes de grand froid, canicule, etc.). Cependant, ce choix de période de référence, inspiré du choix utilisé pour étudier l'impact sanitaire de la canicule, présente certaines limites. D'une part, les risques liés à la chaleur étant isolés à une période de l'année (été) permettent de disposer du reste de l'année pour estimer une période de référence. D'autre part, les épisodes de pollution pouvant s'observer tout au long de l'année interrogent sur la méthodologie à adopter pour déterminer la mortalité de référence. Par ailleurs, les séries de mortalité, indépendamment des niveaux de pollution, sont sujettes à des variations à court et moyen termes (variations saisonnières, du fait des départs en vacances, par exemple, conditions météorologiques, pollens, etc.) souvent importantes, qui sont susceptibles d'induire une estimation biaisée de l'effet de la pollution atmosphérique. Il convient donc en premier lieu de construire un modèle de référence qui prenne en compte ces différentes composantes, avant d'expliquer par la suite les variations résiduelles de mortalité par la pollution atmosphérique.

À partir des coefficients estimés, le modèle permet de calculer deux types de nombre de décès attendus : le nombre de décès attendus un jour donné selon les niveaux de pollution atmosphérique observés ce jour et/ou les jours précédents, et le nombre de décès attendus un jour donné selon les niveaux de pollution habituels de référence. À partir de ces estimations, il sera possible de quantifier la surmortalité liée à un épisode de pollution, en calculant pour une période donnée l'écart entre le nombre de décès observés et attendus par le modèle ainsi que l'écart à une situation de référence.

## **2.5 Stratégie 2 : utilisation du modèle développé par l'InVS dans le cadre du PSAS**

L'objectif de cette stratégie est, comme la première, de quantifier l'impact de l'épisode de pollution sur la mortalité. Les liens entre les niveaux de pollution et le nombre de décès seront analysés à l'aide de modèles additifs généralisés (GAM), selon le protocole développé dans le projet européen APHEA (Katsouyanni *et al.*, 1996) et utilisé dans le cadre du programme Erpurs en Ile-de-France ou du PSAS au niveau national. Ces modèles permettent de prendre en compte d'éventuels effets non linéaires des variables,

par l'utilisation de fonctions splines pénalisées (Härdle, 1991). Ces modèles seront par ailleurs ajustés sur un ensemble de covariables susceptibles de confondre la relation entre le nombre de décès et les expositions aux polluants, à savoir les indicateurs météorologiques, les épidémies de grippe et les expositions aux pollens, les jours de la semaine et jours fériés ou encore les vacances scolaires. Pour capturer l'effet de l'épisode de pollution, il sera utile d'introduire dans le modèle une fonction spline pénalisée des jours de cet épisode, ce qui devrait permettre de déterminer l'excès de mortalité (s'il existe) lié à l'épisode de pollution. Cette fonction spline permettra de capturer l'effet indépendant de l'épisode de pollution par rapport à l'effet attendu pour un modèle de base, dont la variable tendance exclut la période de l'épisode de pollution.

## Discussion

L'enjeu sanitaire de la lutte contre la pollution atmosphérique réside dans l'action contre la pollution atmosphérique chronique, tel qu'il est souligné par le HCSP dans son avis rendu en 2012 : « [...] une politique centrée sur la gestion des « pics » a peu d'impact sur l'exposition au long cours de la population, et [...] la priorité doit être

donnée à la réduction des expositions chroniques » (Haut Conseil de la santé publique, 2012). Ainsi, l'impact des épisodes de pollution ne constitue pas tant un enjeu sanitaire qu'un enjeu de communication, dans des circonstances où la pollution de l'air devient « visible ». En réponse à cela, des moyens très coûteux sont déployés au cours des épisodes de pollution de l'air tels que gratuité des transports publics, du stationnement, ou encore mise en place de la circulation alternée. Il apparaît pertinent d'évaluer le rapport coût/bénéfice de ces mesures. La réflexion portant sur l'évaluation de l'impact sanitaire des épisodes de pollution constitue une première étape pour mener de telles analyses. Elle se heurte cependant à de nombreuses difficultés et renvoie à d'autres questionnements. L'impact sanitaire d'un épisode lié à la pollution particulaire peut-il être généralisé à tous les épisodes compte tenu des variations de composition chimique des particules d'un épisode à l'autre ? Comment rendre compte des éventuels effets synergiques de l'exposition conjointe aux polluants atmosphériques et aux pollens ? En quelle mesure les messages de prévention diffusés lors des épisodes influencent-ils l'exposition et les comportements des individus et peuvent-ils influencer la relation entre pollution de l'air et la survenue d'événements sanitaires ? Tant de questionnements qui font de cette démarche une approche exploratoire visant *a minima* à se poser les bonnes questions.

1. ORS Ile-de-France.
2. ORS Ile-de-France.
3. Direction générale de la santé.
4. Institut de veille sanitaire.
5. Institut de veille sanitaire.
6. Recommandations sanitaires basées sur l'arrêté du 20 août 2014 relatif aux recommandations sanitaires en vue de prévenir les effets de la pollution de l'air sur la santé.
7. Seuil fixé par l'article R. 221-1 du code de l'environnement.
8. PM10 : particules en suspension de taille inférieure à 10 micromètres.
9. Cf. Rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) sur les pollens. [En ligne] : <http://www.anses.fr/fr/documents/AIR2011sa0151Ra.pdf>
10. Arrêté inter-préfectoral n° 2014-00573 relatif à la procédure d'information-recommandation et d'alerte du public en cas d'épisode de pollution en région Ile-de-France.

## Références

- Caserio-Schönemann, C ; Bousquet, V ; Fouillet, A ; Henry, V. (2014). Pour l'équipe projet SurSaUD. La surveillance syndromique en France en 2014. *Bull Epidémiol Hebd.*, n° 3-4, p. 38-44.
- Chatignoux, E ; Host, S. (2013). Expositions à la pollution atmosphérique et recours aux urgences pour pathologies respiratoires chez les enfants en Ile-de-France, Paris : Observatoire régional de santé Ile-de-France, 8 p.
- Chatignoux, E ; Cazenave, A ; Pépin, P. (2009). Surmortalité liée aux vagues de chaleur en Ile-de-France : les risques ont-ils changé depuis 2003 ? Paris : Observatoire régional de santé Ile-de-France, 8 p.
- Fouillet A. (2007). Surmortalité liée aux vagues de chaleur : modélisation des variations spatio-temporelles de la mortalité générale en fonction des caractéristiques climatiques. Thèse de doctorat en épidémiologie, 246 p.
- Härdle, W. (1991). *Smoothing techniques: with implementation*, S. Springer.
- Haut Conseil de la santé publique. (2012). Pollution par les particules dans l'air ambiant. Recommandtions pour protéger la santé. 238 p.
- Katsouyanni, K ; Schwartz, J. ; Spix, C. *et al.* (1996). Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol. *Journal of Epidemiology and Community Health*. Apr., n° 50 (Suppl 1), p. S12-S18.
- Le Tertre, A ; Lefranc, A ; Eilstein, D. *et al.* (2006). Impact of the 2003 Heatwave on All-Cause Mortality in 9 French Cities. *Epidemiology*, n° 17(1), p. 75-79.
- Smith, G.E. ; Bawa, Z. ; Macklin, Y. *et al.* (2015). Using real-time syndromic surveillance systems to help explore the acute impact of the air pollution incident of March/April 2014 in England. *Environmental research*. Elsevier, n° 136, p. 500-504.