

# Effets sanitaires de la pollution de l'air : bilan de 15 ans de surveillance en France et en Europe

Laurence Pascal<sup>1</sup> (laurence.pascal@ars.sante.fr), Sylvia Medina<sup>2</sup>, Mathilde Pascal<sup>2</sup>, Magali Corso<sup>2</sup>, Aymeric Ung<sup>2</sup>, Christophe Declercq<sup>2</sup>

1/ Cire Sud, Institut de veille sanitaire, Marseille, France

2/ Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France

## Résumé / Abstract

En 1997, l'Institut de veille sanitaire a mis en place le Programme de surveillance air et santé (Psas) et a coordonné ou contribué à plusieurs projets européens qui se sont développés depuis cette période. Cet article fait un bilan des connaissances apportées par ces différents projets et études depuis 15 ans et envisage des pistes d'amélioration pour la mise en œuvre des mesures de protection de la santé publique.

Depuis les années 1990, différentes études épidémiologiques ont mis en évidence la persistance d'effets sanitaires de la pollution de l'air aux niveaux rencontrés actuellement. Les évaluations d'impacts sanitaires de la pollution atmosphérique ont donné une estimation objective quantifiée des impacts sanitaires et des bénéfices qui pourraient résulter de l'amélioration de la qualité de l'air sur la santé d'une population. Toutes ces études ont illustré le poids du fardeau sanitaire et économique représenté par les effets néfastes de la pollution de l'air. Elles ont également contribué au changement de perceptions concernant l'impact sanitaire de la pollution de l'air : une amélioration de la santé des populations ne peut être obtenue qu'à condition de parvenir à une amélioration durable de la qualité de l'air.

## Health effects of air pollution: assessment of 15 years of surveillance in France and Europe

*In 1997, the French Institute for Public Health Surveillance (InVS) set up the Air and Health Surveillance Program and coordinated or contributed to several European projects which were developed since then. The present article summarizes the main outcomes achieved by these projects over the last 15 years and explores future challenges to implement public health prevention measures.*

*Since the 1990s, several epidemiological studies have outlined the health effects of air pollution observed even at current levels. Health impact assessment methods contributed to quantify the impact of air pollution on mortality and morbidity, and the benefits resulting from the improvement of air quality for the population. All these studies illustrated the health and economic burden of the negative effects of air pollution. They also contributed to a change in perceptions regarding the impacts of air pollution. Improving population's health can only be achieved through a sustainable improvement in air quality.*

## Mots-clés / Keywords

Pollution de l'air, effet sanitaire, surveillance / Air pollution, health effects, surveillance

## Contexte

La prise de conscience d'un effet néfaste de la pollution de l'air sur la santé, suite à des épisodes exceptionnels de pollution atmosphérique comme celui de Londres pendant l'hiver 1952, a incité les États à mettre en place des mesures de contrôle des émissions industrielles et domestiques, conduisant à une diminution de la pollution dans les villes européennes. On a pu alors penser, dans les années 1980, que la pollution de l'air n'était plus un danger pour la santé dans les pays industrialisés. Cependant, le développement de nouvelles méthodes épidémiologiques et la mobilisation de spécialistes de la santé publique ont permis de montrer que, même à des niveaux faibles, la pollution de l'air représentait toujours un problème de santé publique majeur, en lien notamment avec l'accroissement des niveaux des polluants liés au trafic routier. Ainsi, l'épisode de pollution de l'hiver 1989 en région parisienne a conduit l'Observatoire régional de santé d'Île-de-France à mettre en place le programme Erpurs (Évaluation des risques de la pollution urbaine pour la santé). Celui-ci a montré l'existence d'effets sanitaires aux niveaux de pollution atmosphérique observés dans l'agglomération parisienne et l'intérêt d'améliorer la qualité de l'air [1].

Le contexte politique et social dans lequel la surveillance des effets sanitaires de la pollution atmos-

phérique a été mise en place en France est retracé par Boutaric [2] et Quénel [3]. L'introduction de la dimension sanitaire dans la réflexion sur la pollution de l'air dans notre pays a soulevé de nombreux débats au sein de la communauté scientifique sur les risques faibles et les particularités de l'épidémiologie environnementale. Il a fallu plusieurs années pour que ces études soient reconnues et trouvent leur place dans le paysage de la santé publique. C'est ainsi que la « Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie<sup>1</sup> » (Laure) du 30 décembre 1996 a admis explicitement l'existence d'effets sanitaires de la pollution atmosphérique. Cette disposition réglementaire a marqué un changement dans la surveillance de la qualité de l'air en remplaçant la santé des populations au cœur des préoccupations et des actions des différentes parties prenantes. Depuis, plusieurs études et programmes se sont développés pour contribuer à mieux comprendre et mieux communiquer sur les impacts sanitaires de la pollution de l'air en France et en Europe.

Dans cet article, nous faisons le bilan de 15 ans de surveillance des impacts sanitaires de la pollution de l'air à l'Institut de veille sanitaire (InVS), dans le cadre du Programme de surveillance air et santé (Psas) [4], et au travers de plusieurs projets euro-

péens que l'InVS a coordonné ou auxquels il a participé. L'objet de ce bilan n'est pas d'analyser les évolutions des perceptions sociales ou politiques vis-à-vis de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique, mais de faire le point sur l'état des connaissances actuelles et d'envisager certains des enjeux futurs qui permettraient d'améliorer la mise en œuvre des mesures de protection de la santé publique.

## Les programmes européens et français de surveillance des effets sanitaires de la pollution atmosphérique

En préambule, nous présentons les programmes auxquels il sera fait référence dans ce bilan, en montrant de quelle manière ils se sont articulés au cours du temps pour aborder de façon complémentaire les questions relatives à l'estimation (à court et long termes), l'évaluation d'impact et la communication des risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique urbaine.

L'étude européenne multicentrique Aphea (*Air Pollution and Health: a European Approach*) [5], initiée en 1992, est à l'origine du développement en Europe des méthodes d'analyse statistique ayant permis de mettre en évidence la persistance d'un impact sanitaire de la pollution atmosphérique

<sup>1</sup> <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000005622536&dateTexte=20091103>

urbaine à court terme, aux niveaux ambiants mesurés. En France, le programme Erpurs a joué un rôle pionnier et, en participant au projet Apeha dès 1993, a pu bénéficier de l'expertise de l'étude européenne [1]. Puis, l'InVS a initié en 1997 le Psas, qui a aussi largement participé aux différents projets européens [4], avec pour mission de surveiller les effets sanitaires de la pollution de l'air en France. Les interconnexions entre les programmes français Psas et Erpurs et les projets européens ont été multiples pendant cette période, chacun bénéficiant des avancées méthodologiques et des outils créés par les autres.

Sur les effets à long terme, les études de cohortes américaines ont constitué la référence, notamment la *Harvard Six Cities study* [6] et l'*American Cancer Society study* [7]. Une étude trinationale (France, Suisse, Autriche) a d'ailleurs utilisé des relations exposition-risques issues de ces études américaines [8]. Cependant, dans les années 2000, quelques études de cohortes ont été menées en Europe [9]. Elles sont, depuis 2008, intégrées au projet européen ESCAPE (*European Study of Cohorts for Air Pollution Effects*), qui a pour objectif d'estimer les effets à long terme sur la santé humaine d'une exposition chronique à la pollution atmosphérique en Europe, à partir des données disponibles d'une trentaine de cohortes européennes. En France, les premiers résultats publiés ont été ceux de la cohorte PAARC (Pollution atmosphérique affections respiratoires chroniques) [10].

Ces différents programmes ont utilisé des méthodes novatrices et produit des résultats en termes de risque relatifs faibles qui, s'ils étaient importants sur le plan scientifique, étaient peu parlants pour les non spécialistes. Pour mesurer l'impact en termes de santé publique et faciliter la communication de ces résultats, les épidémiologistes ont eu recours aux évaluations de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique (EIS-PA), qui permettent de traduire les résultats en nombre de cas attribuables à la pollution urbaine. En France, dès 1999, le Psas a coordonné la mise en œuvre de cette démarche en publiant un guide méthodologique pour la réalisation d'EIS-PA à un niveau local [11]. À la même période, le projet Apeha (*Air Pollution and Health: A European Information System*) a conduit cette démarche dans 26 villes européennes [12] et établi un programme épidémiologique de surveillance pluriannuel des impacts sanitaires de la pollution urbaine de 1999 à 2006. Les résultats obtenus ont été actualisés et complétés à partir de 2008 par le projet Apekom (*Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe*), mené dans 25 villes de 12 pays européens [13]. Ce projet a, par exemple, apporté un nouvel éclairage en termes de coût des effets sanitaires, mais son objectif central était de promouvoir une stratégie de communication adaptée à chacune des parties prenantes.

Ainsi, ce sont l'articulation au cours du temps et la complémentarité de ces programmes qui en font toute la richesse et ont, sans doute, finalement eu un réel impact sur les politiques publiques en termes de prévention et de contrôle.

## Bilan de la surveillance des effets sanitaires à court terme de la pollution de l'air

Les différents programmes européens et français ont conduit des études épidémiologiques visant à établir si un excès de risque relatif (ERR) de mortalité ou de morbidité pouvait être associé à différents indicateurs de pollution. En parallèle, la recherche aux niveaux toxicologique et expérimental a permis d'établir les mécanismes physiologiques par lesquels pouvaient agir les polluants atmosphériques, notamment les particules fines en suspension sur la santé animale et humaine [14].

### Les principales études européennes : Apeha et Aphenia

Au début des années 1990, Apeha a fourni une contribution majeure à l'amélioration des connaissances sur les relations à court terme entre différents indicateurs de pollution de l'air et la mortalité ou la morbidité hospitalière. Ainsi, les travaux ont montré une association à court terme entre la mortalité et les concentrations de particules PM<sub>10</sub> (particules de diamètre inférieur à 10 µm) [15], d'ozone [16] et de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) [17]. Les excès de risque de mortalité totale et cardiovasculaire associés aux particules sont respectivement de 0,5% et 0,7%. Ils sont du même ordre de grandeur pour l'ozone en période estivale, et un peu plus élevés pour la mortalité respiratoire (1,1%). Le projet Aphenia (*Air Pollution and Health: a Combined European and North American Approach*), qui a été mené ensuite, avait pour objectif de comparer les résultats obtenus, selon un protocole commun d'analyse, sur 124 villes aux États-Unis, au Canada et en Europe, et d'évaluer les facteurs d'hétérogénéité concernant les effets de la pollution de l'air entre les différents continents. Les augmentations estimées de la mortalité associée aux PM<sub>10</sub> étaient similaires en Europe et aux États-Unis, mais étaient deux fois plus élevées au Canada [18]. L'effet modificateur des autres polluants a mis en évidence qu'un niveau élevé de NO<sub>2</sub> majorait l'effet des PM<sub>10</sub> en Europe mais pas aux États-Unis, et inversement pour l'ozone. L'effet modificateur du climat est observé en Europe mais pas aux États-Unis.

## Le programme de surveillance air et santé en France métropolitaine

Le Psas, qui s'appuyait initialement sur 9 agglomérations, inclut maintenant 16 villes pour assurer une meilleure représentativité du programme en France. Au travers de ces différentes études, le Psas a montré l'existence, à l'échelle nationale, d'une association à court terme entre différents indicateurs de pollution, la mortalité et les hospitalisations, en utilisant une méthodologie validée au plan européen [19;20].

Sur la période 2000-2004, les excès de risque relatif (ERR) associés à une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des différents indicateurs de pollution, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> (particules de diamètre inférieur à 2,5 µm), NO<sub>2</sub> et ozone, étaient respectivement de 1,4%, 1,5%, 1,3% et 0,9% pour la mortalité toutes causes non accidentelles dans la population générale. L'augmentation du risque de décès associée à une augmentation des particules et du NO<sub>2</sub> était plus élevée pour les causes cardiovasculaires et chez les personnes âgées de 65 ans et plus (tableau 1). La dernière étude sur la période 2000-2006 retrouve des résultats similaires pour l'ozone en période estivale. Pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub>, les ERR sont similaires pour la mortalité toutes causes (respectivement 0,8 et 1,7%) mais deux fois moins élevés en ce qui concerne la mortalité cardiovasculaire (tableau 2).

Sur la période 1998-2003, le système de surveillance a permis de montrer que l'augmentation du risque d'hospitalisation pour cause cardiovasculaire sur l'ensemble de la population était de 0,7% pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux de PM<sub>10</sub> ou des PM<sub>2,5</sub>, et de 0,5% pour le NO<sub>2</sub> (tableau 3). Ces ERR étaient plus élevés pour les admissions pour causes cardiaques et pour les cardiopathies ischémiques. Le risque d'admission hospitalière pour causes respiratoires (tableau 4) augmentait de manière significative avec le niveau d'ozone (ERR=1,1%) chez les personnes âgées de 65 ans et plus. Le risque d'hospitalisation pour infections respiratoires était lié aux particules fines, et encore plus à la fraction grossière de ces particules. Contrairement

**Tableau 1** Excès de risque combinés (%) et intervalle de confiance à 95% pour la mortalité toutes causes, cardiovasculaire et cardiaque par âges, associés à une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> du niveau de l'indicateur de pollution par âge, Psas, période 2000-2004 / *Table 1* Percent increase (%), [95% CI] in all causes, cardiovascular and cardiac mortality by age group associated with a 10 µg/m<sup>3</sup> increase in PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>coarse</sub>, NO<sub>2</sub> and ozone, PSAS, 2000-2004

	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5-10</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> été*
<b>Mortalité toutes causes</b>					
Tous âges	1,4 [0,7;2,0]	1,5 [0,8;2,2]	2,2 [0,9;3,4]	1,3 [0,6;1,9]	0,9 [0,4;1,5]
≥ 65 ans	1,4 [0,6;2,2]	1,5 [0,7;2,4]	1,8 [0,3;3,3]	1,3 [0,5;2,1]	1,0 [0,4;1,6]
<b>Mortalité cardiovasculaire</b>					
Tous âges	2,4 [0,9;3,9]	2,8 [0,9;4,7]	4,1 [1,3;7,0]	2,0 [0,7;3,3]	1,1 [0,2;2,0]
≥ 65 ans	2,9 [1,3;4,5]	3,4 [1,4;5,4]	5,1 [1,7;8,6]	2,2 [0,9;3,6]	1,4 [0,5;2,2]
<b>Mortalité cardiaque</b>					
Tous âges	2,0 [0,7;3,4]	2,0 [0,4;3,7]	4,0 [1,1;6,9]	1,6 [0,5;2,7]	1,3 [0,4;2,1]
≥ 65 ans	2,5 [1,0;3,9]	2,9 [1,0;4,8]	4,9 [1,7;8,2]	2,7 [0,1;5,4]	1,3 [0,6;2,1]

\* Été=avril-septembre

Source : Programme de surveillance air et santé. Analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique urbaine et mortalité dans neuf villes françaises. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2008. 41 p.

à la mortalité, l'analyse du lien pollution de l'air et hospitalisations n'a pas été renouvelée, pour l'instant, en raison de la difficulté à obtenir des données journalières en routine.

Enfin, suite à la vague de chaleur de l'été 2003, le Psas s'est aussi intéressé aux relations entre polluants et températures et leur impact conjoint sur la mortalité (voir M. Pascal et coll., p. 12 de ce numéro).

## Bilan de la surveillance des effets sanitaires à long terme de la pollution de l'air

Les études de cohorte ont permis de montrer des effets sanitaires plus importants à la suite d'expositions à long terme à la pollution atmosphérique. Trois études américaines menées dans les années 1990 ont mis en évidence des liens entre l'exposition

chronique aux particules ou au dioxyde de soufre, et la mortalité toutes causes, cardio-pulmonaire et par cancer du poumon [6;7;21].

Toutefois, compte tenu des différences de caractéristiques des populations, des expositions et du mélange de polluants entre les deux continents, il a semblé important de conduire des études en Europe sur des expositions récentes et actuelles. En Norvège, chez les hommes, l'exposition chronique au NO<sub>2</sub> augmente le risque de décès respiratoire et par cancer du poumon notamment [9]. Aux Pays-Bas, l'exposition chronique à la pollution liée au trafic augmente la mortalité cardio-pulmonaire [9]. Mais les résultats les plus attendus sont ceux du projet ESCAPE, qui a développé une méthode standardisée basée sur des modèles *Land use regression* pour estimer l'exposition chronique aux particules et au NO<sub>2</sub> des sujets inclus dans les cohortes européennes utilisées. L'étude calcule ensuite des ERR pour différents indicateurs de morbidité (pathologies prénatales, asthme de l'enfant, maladies respiratoires et cardiovasculaires), de mortalité et d'incidence de cancer pour chaque cohorte. La méta-analyse de ces résultats permettra de calculer des ERR pour la population européenne, utilisables dans les futures EIS-PA à long terme. En France, après l'étude PAARC, qui a montré des résultats similaires aux études américaines, le Psas mène actuellement des travaux fondés sur l'utilisation de la cohorte Gazel, en modélisant de façon rétrospective l'exposition des personnes incluses dans cette cohorte, en partenariat avec la Fédération Atmo France<sup>2</sup>. Les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) participant au projet ont en charge la reconstitution des données historiques de qualité de l'air depuis 1989 par des méthodes de modélisation. Enfin, une équipe pluridisciplinaire française a constitué, en 2006, la première cohorte d'enfants Elfe (Étude longitudinale française depuis l'enfance<sup>3</sup>), qui comporte un volet sur les effets de l'exposition à la pollution de l'air dans l'enfance, et dont les résultats seront connus à plus long terme, les premiers sujets ayant été inclus en 2011.

## Bilan des évaluations d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'évaluation d'impact sanitaire (EIS) est « une combinaison de procédures, méthodes et outils utilisés pour évaluer les effets potentiels sur la santé d'une politique, d'un programme ou d'un projet. Utilisant des techniques qualitatives, quantitatives et participatives, l'EIS vise à produire des recommandations pour aider les décideurs et autres parties prenantes à faire des choix sur des solutions et améliorations pour prévenir les maladies et promouvoir activement la protection de la santé ». Nous faisons référence ici à une des composantes de l'EIS, l'estimation quantitative de l'impact sur la santé de la pollution atmosphérique.

**Tableau 2** Excès de risque combinés (%) et intervalle de confiance à 95% pour la mortalité toutes causes et la mortalité spécifique associés à une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> du niveau de l'indicateur de pollution, Psas, période 2000-2006 / *Table 2* Percent increase (% [95% CI]) in all causes, cardiovascular and cardiac mortality associated with a 10 µg/m<sup>3</sup> increase in PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>coarse</sub>, NO<sub>2</sub> and ozone, PSAS, 2000-2006

	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5-10</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> été*
Mortalité totale non-accidentelle	0,8 [0,2;1,5]	1,7 [0,4;3,0]	0,7 [-0,1;1,6]	0,6 [0,4;0,8]	0,8 [0,5;1,2]
Mortalité cardiovasculaire	0,9 [0,2;1,7]	0,7 [-0,2;1,6]	3,2 [1,3;5,1]	0,7 [0,4;1,0]	1,3 [0,6;1,9]
Mortalité cardiaque	0,9 [0,0;1,8]	0,6 [-0,5;1,7]	3,9 [1,7;6,2]	0,8 [0,5;1,1]	1,1 [0,3;1,9]

\* Été=juin-août  
Source : [20]

**Tableau 3** Excès de risque combinés (%) et intervalle de confiance à 95% pour les hospitalisations pour causes cardiovasculaires, cardiaques, cardiopathies ischémiques par âges, associés à une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> du niveau de l'indicateur de pollution, Psas, période 1998-2003 / *Table 3* Percent increase (% [95% CI]) in hospitalizations for cardiovascular, cardiac and ischemic diseases by age group associated with a 10 µg/m<sup>3</sup> increase in PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>coarse</sub>, NO<sub>2</sub> and ozone, PSAS, 1998-2003

	Pathologies cardiovasculaires	Pathologies cardiaques	Cardiopathies ischémiques
<b>PM<sub>10</sub></b>			
Tous âges	0,7 [0,1;1,2]	0,8 [0,2;1,4]	1,9 [0,8;3,0]
65 ans et plus	1,1 [0,5;1,7]	1,5 [0,7;2,2]	2,9 [1,5;4,3]
<b>PM<sub>2,5</sub></b>			
Tous âges	0,7 [-0,1;1,5]	1,4 [0,4;2,4]	2,3 [-0,1;4,7]
65 ans et plus	1,8 [0,8;2,8]	2,3 [1,0;3,7]	4,4 [2,2;6,7]
<b>PM<sub>10-2,5</sub></b>			
Tous âges	0,5 [-1,2;2,3]	0,1 [-1,9;2,1]	2,8 [-0,8;6,6]
65 ans et plus	1,0 [-1,0;3,0]	1,6 [-0,8;4,1]	6,4 [1,6;11,4]
<b>NO<sub>2</sub></b>			
Tous âges	0,5 [0,1;1,0]	1,0 [0,5;1,5]	1,7 [0,9;2,6]
65 ans et plus	1,2 [0,7;1,7]	1,6 [1,0;2,2]	2,4 [1,4;3,5]
<b>O<sub>3</sub> été*</b>			
Tous âges	0,0 [-0,3;0,4]	0,2 [-0,3;0,7]	0,4 [-0,3;1,1]
65 ans et plus	0,2 [-0,3;0,8]	0,4 [-0,4;1,2]	0,9 [-0,1;1,8]

\* Été=avril-septembre  
Source : Programme de surveillance air et santé (Psas). Relations à court terme entre les niveaux de pollution atmosphérique et les admissions à l'hôpital dans huit villes françaises. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2006. 66 p.

**Tableau 4** Excès de risque combinés (%) et intervalle de confiance à 95%, pour les hospitalisations pour causes respiratoires par âge et pour infections respiratoires tous âges, associés à une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> du niveau de l'indicateur de pollution, Psas, période 1998-2003 / *Table 4* Percent increase (% [95% CI]) in hospitalizations for all respiratory and respiratory infection diseases by age group associated with a 10 µg/m<sup>3</sup> increase in PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>coarse</sub>, NO<sub>2</sub> and ozone, Psas, 1998-2003

	Pathologies respiratoires			Infections respiratoires
	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et plus	
PM <sub>10</sub>	0,8 [-0,1;1,8]	0,8 [-0,2;1,7]	1,0 [-0,8;2,9]	1,5 [0,4;2,7]
PM <sub>2,5</sub>	0,6 [-0,9;2,2]	1,1 [-0,4;2,6]	0,6 [-1,7;2,9]	2,5 [0,1;4,8]
PM <sub>10-2,5</sub>	6,2 [0,4;12,3]	2,6 [-0,5;5,8]	1,9 [-1,9;5,9]	4,4 [0,9;8,0]
NO <sub>2</sub>	0,6 [-0,4;1,7]	0,7[-0,1;1,4]	0,4 [-1,2;1,9]	0,8 [-0,3;1,9]
O <sub>3</sub> été*	-0,2 [-1,1;0,7]	-0,1 [-1,1;0,8]	1,1 [0,4;1,8]	0,6 [-0,2;1,5]

\* Été=avril-septembre  
Source : Programme de surveillance air et santé (Psas). Relations à court terme entre les niveaux de pollution atmosphérique et les admissions à l'hôpital dans huit villes françaises. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2006. 66 p.

<sup>2</sup> <http://www.atmo-france.org/>

<sup>3</sup> <http://www.elfe-france.fr/>

En s'appuyant sur la démonstration de la plausibilité biologique de la relation, les EIS utilisent les relations ERR dérivées des études épidémiologiques décrites précédemment pour quantifier de façon objective les bénéfices d'une réduction de la pollution pour une population donnée. Les EIS-PA ont pour vocation d'apporter un éclairage chiffré (nombre de cas évitables, gain d'espérance de vie, coût) pour aider les parties prenantes à mettre en œuvre des mesures permettant de protéger plus efficacement la santé des populations.

En France, depuis la publication du premier guide méthodologique en 1999, une soixantaine d'EIS-PA ont été réalisées dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants, selon les préconisations de la loi de santé publique de 2004. Elles ont permis d'apporter des informations au niveau local lors de l'élaboration des Plans régionaux pour la qualité de l'air prévus par la Laure et, plus récemment, pour les Schémas régionaux climat air énergie prévus par la loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010. Le guide EIS-PA a été actualisé régulièrement pour prendre en compte les avancées des programmes européens et du Psas, en complétant l'évaluation de l'impact à court terme avec celle de l'impact à long terme. La dernière version, publiée en 2012, contient les avancées d'Aphekom en termes d'espérance de vie et de coûts [22]. Ces EIS-PA ont montré que la plupart des décès ou hospitalisations attribuables à court terme à la pollution étaient dus à une exposition à des concentrations inférieures aux valeurs limites et aux objectifs de qualité pour la santé (figure 1). Elles ont aussi souligné l'importance des effets à long terme d'une exposition chronique à la pollution particulaire.

En Europe, la démarche d'EIS a été largement développée en utilisant les relations exposition-risque issues d'études épidémiologiques comme Apeha et d'autres études sur l'exposition à long terme, permettant ainsi de mesurer l'impact sanitaire de

la pollution atmosphérique à une large échelle. Les premiers résultats d'Apheis sur les fumées noires [12], puis les particules PM<sub>10</sub> [23] ont été actualisés dans Aphekom. Ce dernier projet a permis de développer des méthodes pour le calcul des gains d'espérance de vie ou pour la monétarisation des impacts, d'explorer l'impact de certaines réglementations et de la pollution liée au trafic routier.

Les résultats d'Aphekom publiés en 2011 [13] ont illustré le bénéfice non négligeable pour la santé qui serait obtenu par une diminution des niveaux de particules fines PM<sub>2,5</sub>. Ainsi, l'espérance de vie pourrait augmenter jusqu'à 22 mois pour les personnes âgées de 30 ans et plus (de 4 à 8 mois dans les neuf villes françaises du Psas), si les niveaux moyens annuels de particules fines étaient ramenés au seuil de 10 µg/m<sup>3</sup>, valeur guide préconisée par l'OMS (figure 2). D'un point de vue économique, le respect de cette valeur se traduirait par un bénéfice d'environ 31,5 milliards d'euros pour l'ensemble des 25 agglomérations.

Les EIS peuvent également souligner rétrospectivement l'intérêt de la mise en œuvre de réglementations efficaces dans le domaine de la pollution atmosphérique. Ainsi, Aphekom a estimé que l'application de la législation européenne réduisant le niveau de soufre dans les carburants avait permis de prévenir près de 2 200 décès prématurés, dont le coût a été évalué à 192 millions d'euros dans les 20 villes étudiées.

Ce projet a aussi montré qu'habiter à proximité du trafic routier est un facteur majorant dans le développement de pathologies chroniques qui pourrait être responsable d'environ 15% des asthmes de l'enfant et de proportions similaires ou plus élevées de pathologies respiratoires et cardiovasculaires chez les adultes de 65 ans et plus, dans les 10 villes étudiées.

Enfin le constat, lors de la 3<sup>e</sup> phase du programme Apheis, que la réussite de la mise en œuvre de poli-

tiques publiques d'amélioration de la qualité de l'air passe aussi par une meilleure sensibilisation de la population et des parties prenantes, a conduit Aphekom à élaborer des outils de communication à l'attention des décideurs, pour les aider à formuler des politiques plus efficaces, à celle des professionnels de santé, pour qu'ils puissent mieux conseiller les personnes vulnérables, ainsi qu'à l'ensemble des citoyens, afin qu'ils puissent mieux protéger leur santé<sup>4</sup>.

## Discussion

### Les principaux enseignements de ces programmes de surveillance

Les programmes français et européens ont démontré la persistance d'effets sanitaires à court terme de la pollution de l'air, et ceci même à de faibles niveaux de pollution, car il n'existe pas de seuil en deçà duquel aucun impact n'est observé. Ils ont conforté les résultats publiés dans d'autres pays, en prenant en compte les spécificités de la population et de la pollution atmosphérique locale. Ces programmes ont mis en lumière le rôle particulièrement néfaste des particules fines (PM<sub>2,5</sub>) émises principalement par le trafic routier, et leur implication dans l'aggravation, voire l'apparition de pathologies chroniques respiratoires et cardiovasculaires.

La mise en place de programmes nationaux, parallèlement à l'échelon européen, est une réelle plus-value, car les résultats publiés sont plus parlants pour les acteurs locaux et ainsi mieux compris et utilisés. Des programmes similaires, largement inspirés du projet Apeha et du Psas, se sont ainsi développés en Espagne [24] et en Italie [25]. L'intérêt d'un programme de surveillance pluriannuel est de s'adapter aux plus près des évolutions dans le domaine en prenant en compte de nouveaux

<sup>4</sup> <http://aphekom.kertechno.net>

Figure 1 Distribution des niveaux d'exposition aux PM<sub>10</sub> et décès anticipés associés, Paris, 2004 / Figure 1 Distribution of PM<sub>10</sub> exposure levels and premature associated deaths, Paris, 2004

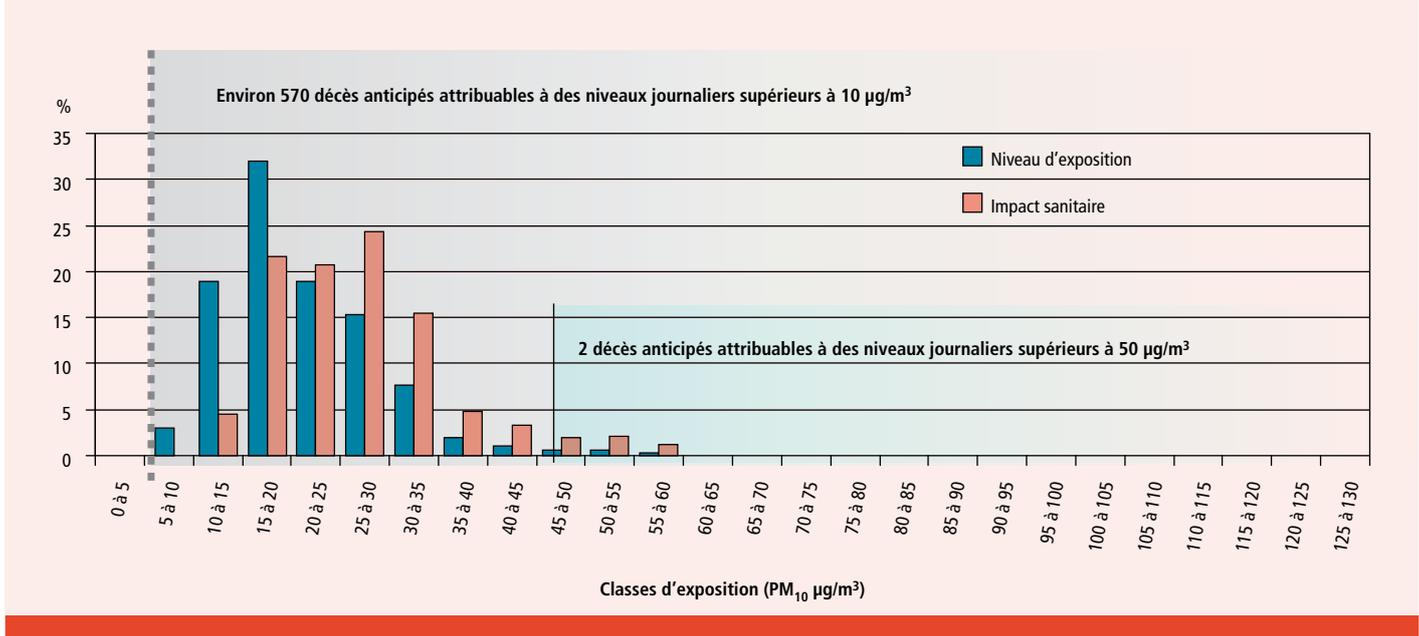
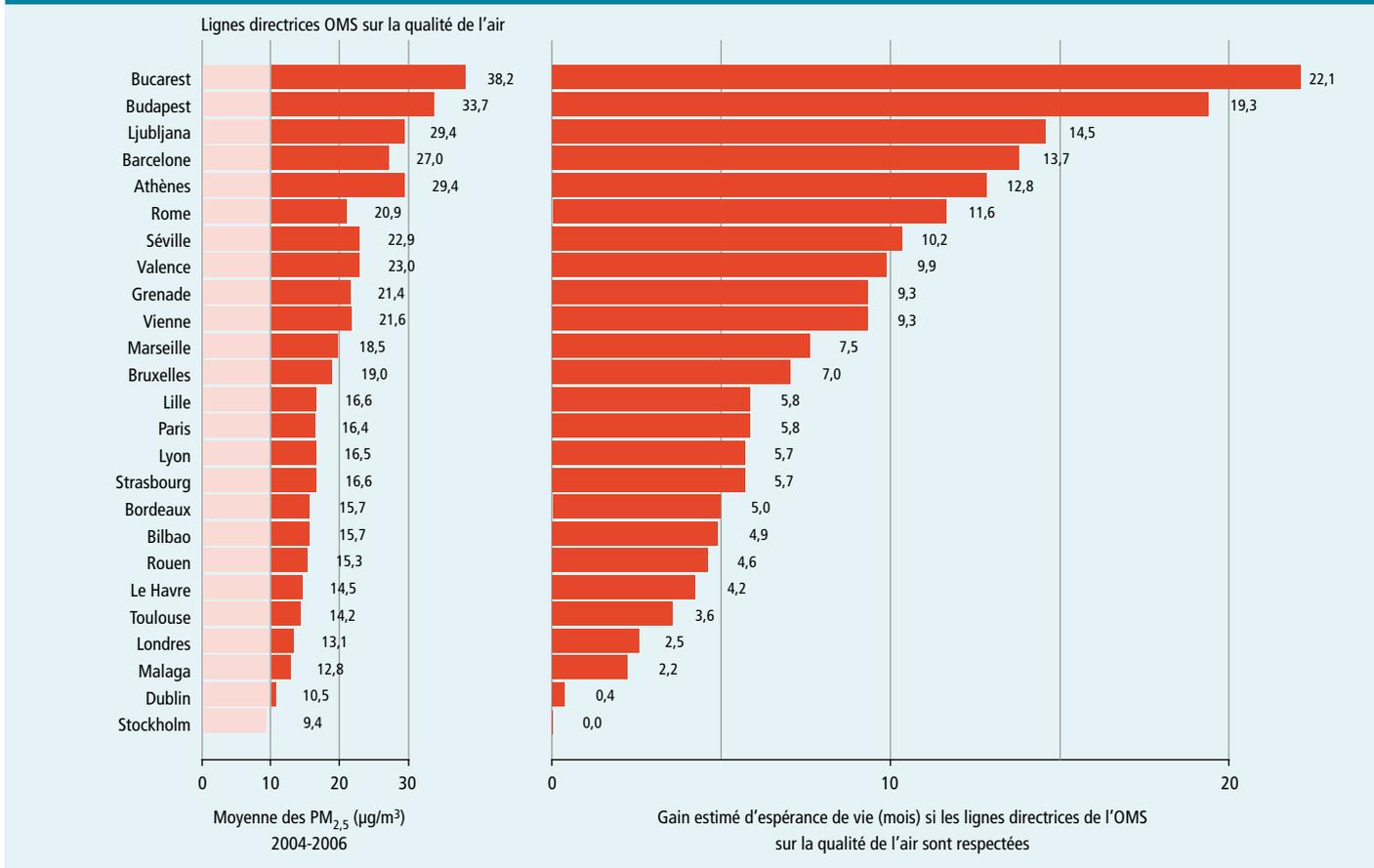


Figure 2 Gain estimé d'espérance de vie (mois) pour les personnes de 30 ans dans les 25 villes Aphekom si les niveaux moyens annuels de PM<sub>2,5</sub> étaient ramenés à 10 µg/m<sup>3</sup> / Figure 2 Predicted average gain in life expectancy (months) for 30 years old persons in 25 APHEKOM cities for a decrease in average annual level of PM<sub>2,5</sub> to 10 µg/m<sup>3</sup>



Source : [13]

polluants, comme les particules fines, ou les améliorations successives apportées aux méthodes d'analyses, afin de donner une estimation plus précise de l'impact sanitaire pour des périodes différentes. Cependant, la comparaison des résultats dans le temps, qui était l'un des objectifs du Psas, est rendue difficile par les changements d'indicateurs et de méthodes d'analyses qui ne permettent pas de juger d'une évolution des effets.

En étant partie intégrante de ces programmes, les EIS-PA ont permis d'illustrer le poids du fardeau sanitaire et économique que représente la pollution. Comme souligné par F. Boutaric [2] « la portée décisionnelle des EIS-PA est susceptible d'être à terme plus importante que les études ». L'exposition aux polluants atmosphériques échappant en grande partie au contrôle individuel, la réduction des expositions nécessite que les autorités publiques prennent des mesures à tous les niveaux, local, national et international. Cela s'est traduit dans les faits, en France, par la mise en œuvre du plan particules<sup>5</sup> en 2009, ainsi que par les dispositions prévues par la loi Grenelle 2. En Europe, le programme CAFE (*Clean Air for Europe*)<sup>6</sup> a conduit à la révision, en 2005, des lignes directrices de l'OMS qui préconisaient des objectifs de qualité de

l'air permettant de réduire fortement les risques sanitaires. Ces deux programmes sont en cours d'actualisation en vue de la révision des directives de qualité de l'air prévue en 2013. Les résultats d'Apheis et d'Aphekom vont sûrement jouer un rôle important au niveau européen dans la détermination des nouvelles lignes directrices des directives de qualité de l'air.

Toutes ces études ont également contribué au changement de perceptions concernant l'impact sanitaire de la pollution de l'air, et ont concouru à faire admettre qu'une amélioration de la santé des populations ne peut être obtenue qu'à la condition d'une amélioration durable de la qualité de l'air. Toutefois, les efforts pour une meilleure sensibilisation des différentes parties prenantes et de la population doivent se poursuivre.

### Les enjeux futurs

Alors que les gaz d'échappement des moteurs diesel ont été classés cancérigènes certains par le Centre international de recherche contre le cancer en 2012, le besoin de connaissances nouvelles et de recherche reste évident dans le domaine des mécanismes d'action des polluants et de la toxicité des particules.

Depuis 2006, quelques études américaines ont publié des résultats concernant les effets sanitaires des particules fines en fonction des différentes sources d'émissions et des éléments chimiques composant ces particules (voir l'article de F. Kelly,

p. 9 de ce numéro). Ces études ont montré des variations importantes de la composition chimique en fonction du lieu d'exposition, de la saison et des sources. Les particules liées au trafic semblent plus nocives, entraînant une augmentation du risque de décès et d'hospitalisations [26]. La présence, dans le mélange particulaire, d'un niveau élevé de carbone élémentaire, de nickel et de vanadium serait liée à un risque augmenté d'hospitalisations à court terme.

Cependant, compte-tenu des fortes variations de composition observées aux États-Unis, au sein d'une même agglomération parfois, il semble difficile de transposer les résultats aux pays européens et à la France. Des études devraient être menées pour compléter les connaissances sur la toxicité et la composition des particules, de manière à pouvoir évaluer les effets sanitaires spécifiques à tel ou tel élément. L'étude MED-PARTICLES<sup>7</sup>, incluant les principales villes du sud de l'Europe, et qui a pour objectif d'améliorer les connaissances sur les caractéristiques des particules ainsi que leur lien avec la santé, est une première étape.

Un autre point de connaissance à améliorer concerne la caractérisation des populations les plus exposées et des populations vulnérables, et notamment la prise en compte des inégalités sociales (voir l'article de S. Deguen, p. 18 de ce numéro). Ainsi, les relations

<sup>5</sup> <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-particules-dans-l-air-qu-est-17702.html>

<sup>6</sup> [http://europa.eu/legislation\\_summaries/other/l28026\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/other/l28026_en.htm)

<sup>7</sup> [http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n\\_proj\\_id=3974](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3974)

pollution de l'air, situation sociale défavorisée et état de santé font encore débat. Certains soulignent que les personnes les plus défavorisées seraient aussi les plus exposées à la pollution de l'air, d'autres pensent que les personnes défavorisées, ayant un état de santé dégradé, sont plus sensibles aux effets néfastes de cette pollution [27].

Enfin, une approche pluridisciplinaire, quantitative et qualitative, de l'évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique et du coût associé, intégrant la biologie, la toxicologie, l'écologie, l'épidémiologie, l'ingénierie, la géologie, les statistiques et les sciences économiques et sociales, devrait être développée. Les EIS-PA menées actuellement prennent en compte une petite partie des déterminants de la santé et de l'environnement des populations, et une telle approche intégrée permettrait de les enrichir pour une meilleure caractérisation des risques sanitaires de la pollution, pour une participation plus active des populations concernées et pour une plus grande portée des résultats d'EIS en matière de mesures de gestion efficaces.

#### Références

[1] Medina S, Le Tertre A, Quenel P, Le Moulec Y. Impact de la pollution atmosphérique sur la santé en Île-de-France : résultats 1987-1992. Évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé, Erpurs. Paris : ORS Île-de-France, 1994. 103 p.

[2] Boutaric F, Lascombes P. L'épidémiologie environnementale entre science et politique. Les enjeux de la pollution atmosphérique en France. *Sciences Sociales et Santé*. 2008;26(4):5-38.

[3] Quénel P. L'épidémiologie d'intervention : une pratique professionnelle entre science et politique revendiquée et assumée. Le cas de la pollution atmosphérique. *Sciences Sociales et Santé*. 2008;26(4):39-50.

[4] Le Tertre A, Quénel P, Eilstein D, Medina S, Prouvost H, Pascal L, et al. Short term effects of air pollution on mortality in nine French cities: a quantitative summary. *Arch Environ Health*. 2002;57(4):311-9.

[5] Anderson HR, Quénel P, Katsouyanni K, Zanobetti A, Sunyer J, Schouten JP, et al. Recommendations for the monitoring of short-term health effects of air pollution: lessons from the APHEA Multi Centre European Study. *Zentralbl Hyg Umweltmed*. 1999;202(6):471-88.

[6] Dockery DW, Pope CA 3<sup>rd</sup>, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, et al. An association between air pollution and

mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med*. 1993;329(24):1753-9.

[7] Pope CA 3<sup>rd</sup>, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama*. 2002;287(9):1132-41.

[8] Künzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet*. 2000;356(9232):795-801.

[9] Pelucchi C, Negri E, Gallus S, Boffeta P, Tramacere I, LaVecchia C. Long-term particulate matter exposure and mortality: a review of European epidemiological studies. *BMC Public Health*. 2009;9:453-60.

[10] Filleul L, Rondeau V, Vandentorren S, Le Moual N, Cantagrel A, Annesi-Maesano I, et al. Twenty five year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey. *J Occup Environ Med*. 2005;62:453-60.

[11] Glorennec P, Quénel P, Nourry L, Cassadou S, Eilstein D, Filleul L, et al. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Guide méthodologique. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, 1999. 94 p. Disponible à : [http://opac.invs.sante.fr/index.php?lvl=notice\\_display&id=5834](http://opac.invs.sante.fr/index.php?lvl=notice_display&id=5834)

[12] Medina S, Plasencia A, Artazcoz L, Quénel P, Katsouyanni K, Mücke HG, et al. and the contributing members of the APHEIS Group. APHEIS Air Pollution and Health: a European Information System. Final scientific report, 1999-2000. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, 2001. 136 p. Disponible à : [http://www.apheis.org/Pdf/Apheis\\_Report.pdf](http://www.apheis.org/Pdf/Apheis_Report.pdf)

[13] Pascal M, Medina S. Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011. Des clefs pour mieux comprendre les impacts de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Europe. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 6 p. Disponible à : [http://opac.invs.sante.fr/index.php?lvl=notice\\_display&id=10949](http://opac.invs.sante.fr/index.php?lvl=notice_display&id=10949)

[14] Brook RD, Franklin B, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, et al. Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation*. 2004;109(21):2655-71.

[15] Samoli E, Analitis A, Touloumi G, Schwartz J, Anderson HR, Sunyer J, et al. Estimating the exposure-response relationships between particulate matter and mortality within the APHEA multicity project. *Environ Health Perspect*. 2005;113(1):88-95.

[16] 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.

[17] Samoli E, Aga E, Touloumi G, Nisiotis K, Forsberg B, Lefranc A, et al. Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. *Eur Respir J*. 2006;27(6):1129-38.

[18] Katsouyanni K, Samet JM, Anderson HR, Atkinson R, Le Tertre A, Medina S, et al. Air pollution and health: a European and North American approach (APHENA). *Res Rep Health Eff Inst*. 2009;(142):85-90.

[19] Pascal L, Blanchard M, Fabre P, Larrieu S, Borelli D, Host S, et al. Liens à court terme entre la mortalité et les admissions à l'hôpital et les niveaux de pollution atmosphérique dans neuf villes françaises. *Bull Epidémiol Hebd*. 2009;(5):41-4.

[20] 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 : <http://www.invs.sante.fr/Publications-et-outils/Rapports-et-syntheses/Environnement-et-sante/2012/Influence-de-la-saison-et-des-episodes-de-fortes-chaleurs-sur-les-liens-entre-ozone-particules-et-mortalite-dans-neuf-villes-francaises>

[21] Beeson WL, Abbey DE, Knutsen SF. Long-term concentrations of ambient air pollutants and incident lung cancer in California adults: results from the AHSMOG study. *Adventist Health Study on Smog. Environ Health Perspect*. 1998;106(12):813-22.

[22] Ung A, Pascal M, Chanel O, Corso M, Blanchard M, Pascal L, et al. Comment réaliser une évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine ? Guide méthodologique. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire. À paraître.

[23] Medina S, Le Tertre A, Saklad M; on behalf of the Apheis Collaborative Network. The Apheis project: Air Pollution and Health – A European Information System. *Air Qual Atmos Health*. 2009;2(4):185-98.

[24] Saez M, Ballester F, Barceló MA, Pérez-Hoyos S, Bellido J, Tenias JM, et al. A combined analysis of the short-term effects of photochemical air pollutants on mortality within the EMECAM project. *Environ Health Perspect*. 2002;110(3):221-8.

[25] Faustini A, Stafoggia M, Berti G, Bisanti L, Chiusolo M, Cernigliaro A, et al. The relationship between ambient particulate matter and respiratory mortality: a multi-city study in Italy. *Eur Respir J*. 2011;38(3):538-47.

[26] Bell ML, Ebisu K, Peng Rd, Samet JM, Dominici F. Hospital admissions and chemical composition of fine particle air pollution. *Am J Respir Crit Care Med*. 2009;179(2):1115-20.

[27] Deguen S, Zmirou-Navier D. Social inequalities resulting from health risks related to ambient air quality – A European review. *Eur J Public Health*. 2010;20(1):27-35.