

DOCUMENTS

Programme de Surveillance Air et Santé – 9 villes (PSAS-9)

Sylvie CASSADOU*, Christophe DECLERCQ**,
Daniel EILSTEIN*, Laurent FILLEUL*, Alain Le TERTRE*, Sylvia MEDINA*,
Catherine NUNES***, Dave CAMPAGNA***, Laurence PASCAL*, Hélène PROUVOST*,
Philippe SAVIUC*, Abdelkrim ZEGHNOUN*, Philippe QUÉNEL*

NDLR : Revue de synthèse « Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain – Phase II », reproduite avec l'autorisation du Département Santé Environnement de l'Institut de veille sanitaire (InVS).

En mars 1999, l'InVS publiait les premiers résultats du Programme de Surveillance Air & Santé – 9 villes (PSAS-9). Cette première phase montrait la faisabilité d'une mobilisation des différents acteurs dans les champs de la pollution atmosphérique et de la santé autour d'une problématique commune. Ils permettaient également de conclure à l'existence d'associations entre les variations journalières de l'ensemble des indicateurs de pollution atmosphérique urbaine et la mortalité quotidienne totale, cardiovasculaire et respiratoire, confortant ainsi, à partir de données françaises, les connaissances scientifiques dans ce domaine.

Aujourd'hui, sont présentés dans ce rapport les résultats de la deuxième phase du PSAS-9 qui s'est attachée principalement à estimer les relations exposition/risque à court terme entre les indicateurs de pollution et des indicateurs d'admissions hospitalières. Cette deuxième phase a également permis de confirmer les résultats de la phase I concernant l'impact à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité grâce à des périodes d'étude plus longues. Par ailleurs, des analyses exploratoires utilisant de nouveaux indicateurs et des analyses de sensibilité sur la robustesse des résultats ont été réalisées. Enfin, des outils méthodologiques ont été développés afin d'optimiser recueil des données et modélisation statistique. L'ensemble de ces résultats a permis la quantification de l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique sur les neuf villes du PSAS-9.

Le PSAS-9 est désormais un système pérenne de surveillance épidémiologique de l'impact de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé destiné à fournir des éléments d'information utiles aux décideurs et à la population.

The InVS published its first results on the Nine-Cities Air and Health Surveillance Programme (PSAS-9) in March 1999. This phase I pointed out that it was possible for various specialists in the field of air pollution and health to gather around a common set of problems. They also found a link between the daily variations of all the urban air pollution indicators and the total, cardio-vascular and respiratory mortality which, based on French data, contributed to strengthen scientific knowledge in this field.

Today's report presents the results of phase II of the PSAS-9 programme which essentially aimed at assessing the short-term exposure-risk relationships between pollution indicators and hospital admission indicators. This second phase also allowed to confirm the results of phase I on the short-term effect of air pollution on mortality thanks to longer periods of study.

Exploratory analysis using new indicators and sensitivity analysis on the pertinence of results were also conducted. Finally, methodological tools were developed in order to optimise data collection and statistical modelization. All these results enabled the quantification of the short-term health impact of air pollution on the PSAS-9 cities.

PSAS-9 is now an ongoing epidemiological surveillance programme on the effects of urban air pollution on health, providing information tools to decision-makers and the general population.

* Institut de Veille Sanitaire (InVS).

** Observatoire Régional de Santé Nord-Pas-de-Calais.

*** Observatoire Régional de Santé d'Ile-de-France.

Partenaires

Coordination nationale

*Institut de Veille Sanitaire –
Département Santé Environnement*

A. Blondeau, S. Cassadou, C. Guillaume, A. Le Tertre, S. Medina, P. Quénel.

Pôles locaux de surveillance épidémiologique

Bordeaux

I. Baldi (Institut de Santé Publique, d'Épidémiologie et de Développement de l'Université de Bordeaux 2 — ISPED), E. Capdenat (DIM Hôpital du Bouscat), M. Charron (DDASS Gironde), J.P. Chassaigne (DIM Hôpital Bagatelle), P. Denis (DIM Clinique mutualiste de Pessac), J. Dufoir (APPA – Comité Aquitain), L. Filleul (InVS), V. Gilleron (DIM CHU de Bordeaux), P. Grégoire et J.L. Zulian (Association de surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine – AIRAQ), F.X. Jouteux (DRASS Aquitaine), B. Lèglise (SOS Médecins Bordeaux).

Lille

R. Beuscart (DIM CHRU de Lille), D. Bricoteau (DIM Centre hospitalier de Roubaix), J.L. Brulin (ADEME), D. Cuny (Faculté de Pharmacie de Lille), C. Declercq (ORS Nord-Pas-de-Calais), D. Furon et M. Mazzuca (Centre de Recherches en Santé, Travail, Ergonomie – CERESTE), M.H. Gohier (DIM GHICL – Groupement Hospitalier de l'Institut Catholique de Lille), D. Illef et C. Heyman (CIRE Nord), M. Montaye (Institut Pasteur de Lille), E. Pascal (DRASS), H. Prouvost (InVS), M. Riquart (DRIRE), I. Roussel (APPA), J.Y. Saison (AREMA-LRT).

Lyon

F. Bouvier (COPARLY), C. Callens (DRASS – SSE), C. Colin (DIM – Hospices Civils de Lyon), B. Fabres (CIRE Rhône-Alpes Auvergne, DRASS Rhône-Alpes), V. Formysin (DDASS Rhône), P. Gillet (DIM, Clinique Eugène André, Lyon), J. Manchon (DIM, Hôpital Saint-Joseph, Lyon), M.C. Ravault (DRASS Rhône-Alpes), S. Rey (CIRE Rhône-Alpes Auvergne, DRASS Rhône-Alpes), P. Ritter (Direction Écologie Urbaine, Ville de Lyon), P. Saviuc (InVS), A.M. Durand (DDASS du Rhône).

Marseille

P. Alesandrini (DRASS Provence-Alpes-Côte d'Azur), A. Armengaud (DRASS Provence-Alpes-Côte d'Azur – CIRE Sud-Est), A. Bagdadlian (DIM Hôpital Desbief), R. Banda (DIM Hôpital Saint-Joseph), N. Bennedjai (Ville de Marseille – Service Santé Environnement), N. Bialowons (DIM Clinique Bonneveine), F. Charlet (DDASS Bouches-du-Rhône – Inspection de la santé), D. Charpin

(Hôpital Nord-Service de pneumologie), M. Dubuc (DIM Hôpitaux Nord), L. Durif (DIM Hôpital Conception), M. Fieschi (DIM Hôpital Timone Adultes), J.P. Ulasien (DRIRE Provence-Alpes-Côte d'Azur), M. Garans (DDASS Bouches-du-Rhône Service Santé-Environnement), P. Guieu-Renzi (AIRMARAIX), B. Giusiano (DIM Hôpital Timone Enfants), F. Grimaldi (APPA – Faculté de Pharmacie), J.C. Lardic (Ville de Marseille – Direction Environnement et déchets), J.L. Lasalle (DRASS Provence-Alpes-Côte d'Azur – CIRE Sud), L. Pascal (InVS), E. Plaisant (DIM Hôpital Ambroise Paré), R. Sambuc (DIM Hôpital Conception), X. Thirion (DIM Hôpitaux Sud), F. Volot (DIM Hôpital Timone Adultes).

Rouen – Le Havre

P. Beaudeau (InVS), P. Barco (DIM CH d'Elbeuf), C. Bel (Air Normand), M. Bobbia (Air Normand), E. Briquet (DIM CH du Havre), P. Czernichow (Département d'Épidémiologie et de Santé Publique CHU de Rouen), H. Daubert (DESP CHU de Rouen), V. Delmas (Air Normand), G. Duclos (DDASS Seine-Maritime), L. Froment (DESP CHU de Rouen), S. Lechangeur (DIM CH du Havre), N. Lucas (DRASS Haute-Normandie), B. Marshall (DIM CH du Havre), C. Tain (DRIRE Seine-Maritime), F. Voisin (DIM CH d'Elbeuf), A. Zeghnoun (InVS).

Strasbourg

O. Boux (DIM Hospices Civils de Strasbourg), D. Eilstein (InVS), A. Guillard (DDASS du Bas-Rhin), F. Hugel (Service Communal d'Hygiène et de Santé de la Ville de Strasbourg), J. Kleinpeter (ASPA), G. Nisand (DIM Hospices Civils de Strasbourg), N. Roeslin (DIM Hospices Civils de Strasbourg), A. Target (ASPA), C. Weidmann (DIM Hospices Civils de Strasbourg).

Toulouse

C. Baudinat (DRASS Midi-Pyrénées), S. Cassadou (InVS), F. Cayla (ORS Midi-Pyrénées), D. Fabre (DIM CHU Toulouse), C. Hemery et C. Ricoux (CIRE Sud-Ouest), A. Lucido (DIM Hôpital Joseph Ducuing), M. Meybeck (ORAMIP), M.C. Remesy (Service Communal d'Hygiène et de Santé de la Ville de Toulouse).

Partenaires associés

Paris

Le groupe ERPURS : D. Campagna (ORS Ile-de-France), W. Dab (DGS), R. Ferry (ORS Ile-de-France), B. Festy (APPA), P. Larnelaise (AIRPARIF),

Y. Le Moullec (LHVP), I. Momas (Faculté de Pharmacie Paris V), C. Nunes (ORS Ile-de-France).

Assistance Publique des Hôpitaux de Paris : J. Holstein, G. Lecocq.

Groupes régionaux d'observation de la grippe (GROG) : A. Mosnier.

SOS Médecin : J.C. Guzzo.

Partenaires nationaux

• Experts associés

Epidémiologie

C. Ségala (SEPIA).

Météorologie

Y. Le Moullec (LHVP).

Données hospitalières

M. Bensadon (CTIP), N. Reinhart (DIM Hôpital National de Saint-Maurice), N. Roeslin (DIM Hospices Civils de Strasbourg).

En France comme dans d'autres pays, la pollution atmosphérique demeure une préoccupation de santé publique et ce, malgré l'adoption de valeurs guides et de normes d'émission plus sévères, une meilleure surveillance de la qualité de l'air et une baisse parfois importante des niveaux de certains types de pollution. De nombreuses études menées en population générale ont montré que la pollution atmosphérique est associée à une augmentation de la fréquence de survenue de crises d'asthme, de bronchites, ainsi que d'autres pathologies pulmonaires chroniques et cardiaques. Chez les enfants, la pollution atmosphérique perturbe le développement de l'appareil respiratoire, les rendant ainsi plus sensibles aux polluants à long terme.

La réalisation d'études épidémiologiques en France (avec le Programme de Surveillance Air et Santé, PSAS-9) et en Europe (avec le Projet APHEA : Air Pollution and Health, a European Approach) a permis de quantifier les effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la santé. Une étude récente menée dans trois pays d'Europe (Autriche, France et Suisse) a estimé qu'à long terme la pollution atmosphérique pouvait être responsable de plus de 40 000 décès par an. Le coût rattaché à ces décès prématurés a été évalué à plus de 50 milliards € par an.

Qu'est-ce que le programme PSAS-9 ?

En 1997, le PSAS-9 a été implanté dans neuf grandes villes françaises (Bordeaux, Le Havre, Lille, Lyon, Marseille, Paris, Rouen, Strasbourg, Toulouse). Ce programme s'inscrit dans le cadre de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du

Systèmes d'information

F. Franke (DIM – Hôpital de la Conception, Marseille), T. Bouillie (ORS Midi-Pyrénées).

• Partenaires nationaux fournisseurs de données

INSERM SC8

E. Jouglu, E. Michel, F. Péquignot.

Météo-France

F. Breneur, M. Payen, J. Poitevin, M. Roux.

Réseau National de Surveillance Aérobiologique

M. Thibaudon.

Réseau National Téléinformatique de surveillance et d'information sur les Maladies Transmissibles

A. Flahaut.

30 décembre 1996 qui stipule dans son article 3 que « l'État assure (...) la surveillance de la qualité de l'air et (...) de ses effets sur la santé ». Également prévus par cette loi, les Plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA) ont pour objet de fixer des orientations visant à « prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique ». Pour cela, ils doivent s'appuyer, notamment, sur une évaluation des effets de la pollution atmosphérique sur la santé et nécessitent donc des outils épidémiologiques adéquats.

Afin de répondre à ces besoins, l'objectif général du PSAS-9 est de quantifier, à l'échelle de la population, les relations entre des indicateurs de pollution atmosphérique et des indicateurs de santé. La finalité de cette surveillance est :

- d'évaluer l'évolution, au cours du temps, des risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique urbaine ;
- de permettre la réalisation d'évaluations d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique tant à l'échelle locale et régionale que nationale.

Après avoir publié son premier rapport en 1999, le programme PSAS-9 produit aujourd'hui les résultats de sa deuxième phase d'activité.

Quels sont les principes méthodologiques du programme PSAS-9 ?

Étude de séries temporelles

Le principe de ce programme consiste à relier les variations temporelles à court terme (d'un jour à l'autre) d'un indicateur de l'état de santé d'une popu-

lation (mortalité, admissions hospitalières) à celles d'un indicateur d'exposition de cette population à la pollution atmosphérique (polluants mesurés) afin d'identifier ce que l'on appelle une relation exposition/risque. L'identification de ces relations nécessite la prise en compte de paramètres temporels et de cofacteurs pouvant biaiser les estimations.

Critères de sélection des villes

Les neuf villes du programme ont été retenues sur la base d'un ensemble de critères tels que la diversité des conditions climatiques, des situations géographiques et des sources de pollution urbaine ainsi que l'existence ancienne d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air.

Définition de la zone d'étude sur chaque ville

Pour chacune des neuf villes, une zone d'étude a été définie de telle sorte que l'exposition à la pollution atmosphérique de la population résidente puisse être considérée comme globalement homogène vis-à-vis des indicateurs d'exposition retenus : particules (fumées noires), dioxyde de soufre (SO_2), dioxyde d'azote (NO_2) et ozone (O_3). Ces indicateurs ont été construits à partir des données issues de stations de mesure de fond, situées en zone urbaine (péri-urbaine pour l'ozone) et représentatives de « l'exposition ambiante ».

Données recueillies

Pour chacune des zones d'étude, les séries temporelles suivantes ont été construites :

- indicateurs sanitaires : nombre journalier de décès et d'admissions hospitalières ;
- indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique : niveaux journaliers (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) des principaux polluants mesurés par les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) ;
- cofacteurs : température et humidité relative journalières, nombre journalier de cas de grippe, jours fériés et, pour l'analyse des admissions hospitalières, périodes de vacances scolaires et niveaux journaliers des principaux types de pollens allergisants.

Modélisation statistique

D'une manière générale, pour une meilleure analyse statistique, la période d'étude retenue doit être la plus longue possible. Celle-ci était cependant limitée, dans chaque ville, à la période de disponibilité commune des données sanitaires et des données de pollution.

L'estimation des relations exposition/risque a d'abord été réalisée par une modélisation statistique dans chacune des villes. Puis, une analyse combinée des résultats obtenus localement a été effectuée. Cette approche multicentrique poursuit un triple objectif : 1) prendre en compte l'hétérogénéité des risques de la pollution atmosphérique dans les différentes villes ; 2) disposer d'une plus grande

puissance statistique pour estimer de manière plus précise les risques associés à la pollution atmosphérique ; 3) proposer un risque combiné ou « méta-risque » applicable à des agglomérations ne faisant pas partie du programme PSAS-9, pour l'évaluation de l'impact sanitaire.

La démarche d'évaluation de l'impact sanitaire (EIS)

Dans le cadre de la pollution atmosphérique urbaine, la démarche d'EIS vise à apporter, aux décideurs et au public, des éléments concrets d'informations sanitaires en nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique sur une agglomération donnée. Pour cela, l'EIS applique les relations exposition/risque, élaborées entre autres dans le cadre du PSAS-9, aux indicateurs d'exposition et indicateurs sanitaires de cette agglomération. Les résultats de la démarche contribuent donc à la gestion des risques en éclairant les décideurs dans les choix politiques de réduction des risques devant être mis en œuvre, tant au niveau national que local. Les résultats permettent également de fixer des objectifs de qualité de l'air fondés sur des critères de santé publique, notamment dans l'établissement des normes de la qualité de l'air et des valeurs guides.

Quels sont les acquis de la première phase ?

La première phase du programme PSAS-9 a montré la possibilité de mobiliser des acteurs multidisciplinaires en vue de mettre en place un dispositif de surveillance épidémiologique des effets de la pollution de l'air, dans neuf villes françaises. Cette première phase a contribué également au développement de l'expertise, tant au niveau local que national, et au découplage des secteurs impliqués dans ce domaine.

Cette étude de faisabilité portait sur l'analyse rétrospective des relations à court terme entre la pollution atmosphérique et la mortalité, pour la période de 1990 à 1995. Ainsi :

- des associations statistiquement significatives ont été observées entre les variations journalières de l'ensemble des indicateurs de pollution atmosphérique et la mortalité quotidienne totale, cardiovasculaire et respiratoire ;
- ces associations sont linéaires et sans seuil : à l'échelle de la population, il n'a pas été mis en évidence de valeur d'exposition au-dessous de laquelle le risque serait nul ;
- ces résultats ont donc permis de montrer que les dépassements des seuils d'alerte ne doivent pas occulter l'importance des effets sanitaires dus à la pollution atmosphérique de fond. Ces dépassements, bien que socialement perçus comme des situations « d'alertes sanitaires », ne constituent pas le facteur de risque prépondérant pour la santé publique. Une focalisation sur ces situations conduirait à négliger

les actions de prévention visant à réduire les niveaux de fond de la pollution atmosphérique en orientant les politiques vers des stratégies moins efficaces en terme de réduction de mortalité attribuable à la pollution atmosphérique ;

– les risques observés sont du même ordre de grandeur dans les différentes villes quelle que soit la diversité des conditions climatiques locales et des sources de pollution atmosphérique : pour une même augmentation du niveau de pollution, les excès de risque de mortalité sont homogènes entre les différentes villes. Les différences d'impact sanitaire, en terme de nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique, entre les neuf villes, sont liées aux différences de niveaux de pollution.

Pourquoi une phase II ?

Au cours de la phase I, selon l'historique et la configuration des réseaux de mesure de la qualité de l'air, tous les indicateurs de pollution étudiés n'avaient pu être pris en compte dans chacune des villes. Par ailleurs, la longueur des séries temporelles analysées était parfois faible au regard des nécessités de l'analyse statistique : certaines villes ne disposaient que d'un peu plus de deux ans de données. Enfin, si les modalités de recueil des données hospitalières avaient pu être testées, la période de disponibilité de ces données dépassait rarement deux années et n'avait pas permis l'analyse de la morbidité hospitalière.

Les objectifs de la phase II étaient donc les suivants :

- Estimer les relations exposition/risque à court terme entre les indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique et des indicateurs d'admissions hospitalières.

- Actualiser les relations exposition/risque à court terme entre la pollution atmosphérique et la mortalité obtenues au cours de la phase I.

Au cours de cette phase II, les indicateurs d'exposition étaient les fumées noires et SO₂ pour la pollution acido-particulaire, NO₂ et O₃ pour la pollution photo-oxydante. Les particules (PM₁₀ et PM₁₃) ont également été recueillies et analysées mais seulement à titre exploratoire en raison du faible nombre de villes disposant de ces indicateurs avec une durée suffisante.

Les indicateurs de morbidité hospitalière étaient les admissions pour pathologie cardiovasculaire (chez les patients âgés de 15 à 64 ans d'une part, et de 65 ans et plus d'autre part) et les admissions pour pathologie respiratoire (chez les patients de moins de 15 ans d'une part, et de 65 ans et plus d'autre part).

Les indicateurs de mortalité étaient la mortalité totale (hors accidents et morts violentes), la mortalité cardiovasculaire et la mortalité respiratoire.

Quels sont les résultats de la phase II ?

Caractéristiques démographiques et géographiques des neuf villes

La population totale étudiée dans cette phase II est de 11 309 535 personnes réparties sur les neuf villes (Tableau 1). La zone de Paris représente à elle seule plus de la moitié des effectifs et la densité de population est différente suivant les zones d'étude avec un minimum pour Toulouse et un maximum pour Paris. La distribution par tranche d'âge est comparable d'une ville à l'autre, sauf pour Marseille où l'on observe une proportion des 65 ans légèrement plus importante que dans les autres villes.

Tableau 1.
Caractéristiques démographiques* des neuf villes étudiées, 1999.

Zones d'étude	Superficie en km ²	Nombre d'habitants	Nombre d'habitants par km ²	Pourcentage d'habitants par classe d'âge		
				0-14 ans	15-64 ans	> 65 ans
Bordeaux	283	584 164	2 064	15,4 %	68,8 %	15,8 %
Le Havre	199	254 585	1 279	19,4 %	65,5 %	15,1 %
Lille	612	1 091 156	1 783	20,5 %	66,7 %	12,8 %
Lyon	132	782 828	5 930	16,5 %	67,8 %	15,7 %
Marseille	355	856 165	2 412	17,0 %	64,3 %	18,7 %
Paris	762	6 164 418	8 090	17,3 %	68,9 %	13,8 %
Rouen	320	434 924	1 359	18,0 %	66,8 %	15,2 %
Strasbourg	304	451 133	1 484	17,3 %	69,4 %	13,3 %
Toulouse	635	690 162	1 087	16,2 %	70,3 %	13,5 %

* Source : INSEE, RP99.

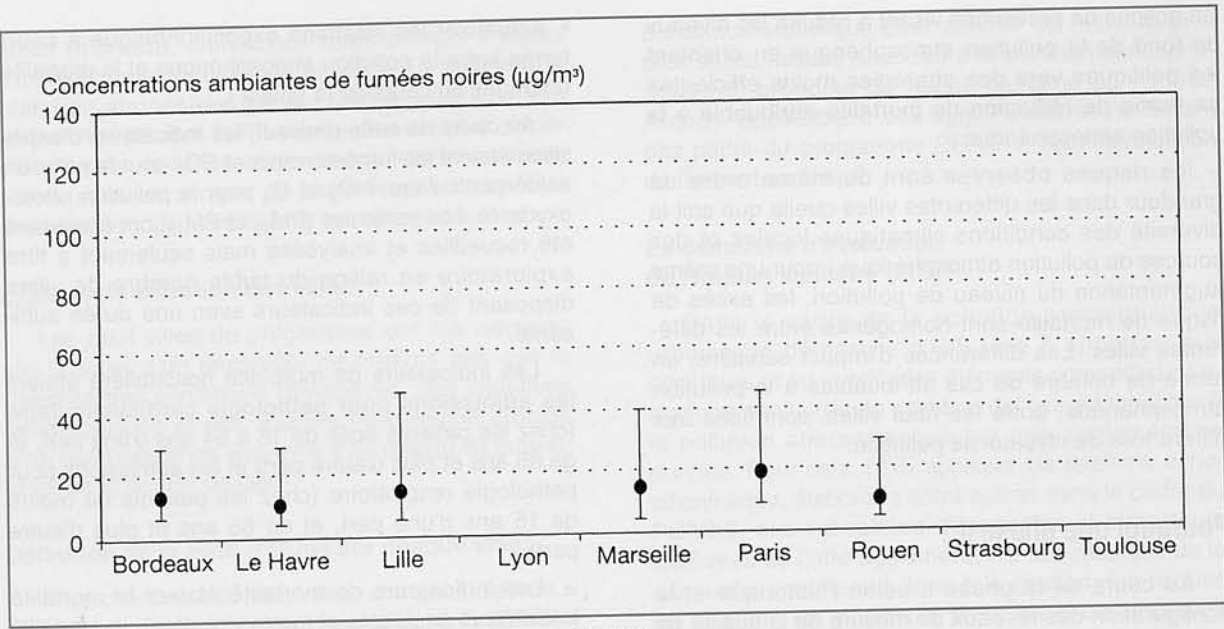


Figure 1.
Niveaux médians et variation des concentrations ambiantes de l'indice de fumées noires ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans les neuf villes étudiées pendant la période 1990-1997.
La variation des concentrations ambiantes est exprimée par les 10^e et 90^e percentiles.
Note : l'absence d'information pour une ville indique que cet indicateur n'était pas mesuré pendant la période d'étude.

Est-ce que la qualité de l'air diffère au sein des neuf villes étudiées ?

Le niveau de l'indice de fumées noires (disponible dans six villes), est plus élevé à Paris et plus faible à Rouen et au Havre. Dans les autres zones, les niveaux sont comparables (Figure 1). Pour l'indi-

cateur de SO_2 , disponible sur l'ensemble des villes, les niveaux les plus élevés sont au Havre, à Lille et à Rouen et les plus faibles à Toulouse et à Bordeaux (Figure 2). Dans cette dernière ville, le SO_2 est mesuré par l'indice d'acidité forte, une méthode considérée comme moins spécifique.

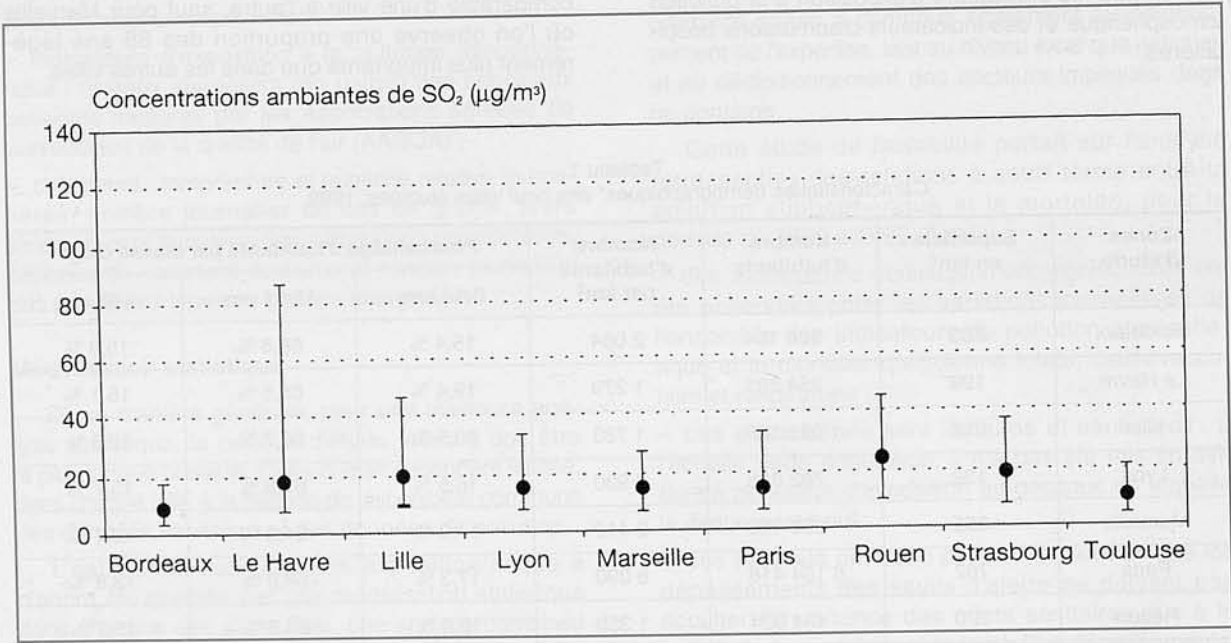


Figure 2.
Niveaux médians et variation des concentrations ambiantes de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans les neuf villes étudiées pendant la période 1990-1997.
La variation des concentrations ambiantes est exprimée par les 10^e et 90^e percentiles.
Note : l'absence d'information pour une ville indique que cet indicateur n'était pas mesuré pendant la période d'étude.

Les niveaux d'exposition au NO_2 sont plus élevés à Lyon, Paris et Strasbourg ; ils sont comparables dans les autres villes (Figure 3). Les niveaux de l'indicateur O_3 (Figure 4) varient du simple au double entre les zones où les niveaux les plus faibles sont observés (Lille et Paris) et celles ayant les niveaux les plus élevés (Marseille et Toulouse).

Comment exprime-t-on les effets sanitaires de la pollution atmosphérique ?

Les effets sur la santé sont calculés en prenant en compte la pollution atmosphérique du jour même et de la veille (0-1 jours) d'une part, et la pollution atmosphérique du jour même et des cinq jours précédents (0-5 jours) d'autre part.

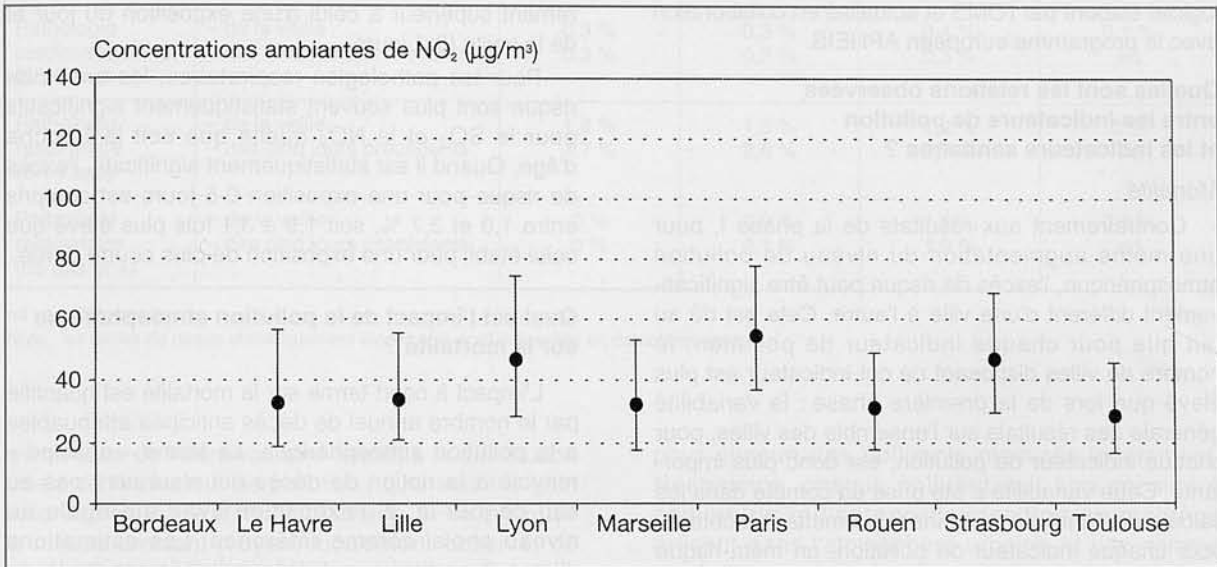


Figure 3.

Niveaux médians et variation des concentrations ambiantes de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans les neuf villes étudiées pendant la période 1990-1997.

La variation des concentrations ambiantes est exprimée par les 10^e et 90^e percentiles.

Note : l'absence d'information pour une ville indique que cet indicateur n'était pas mesuré pendant la période d'étude.

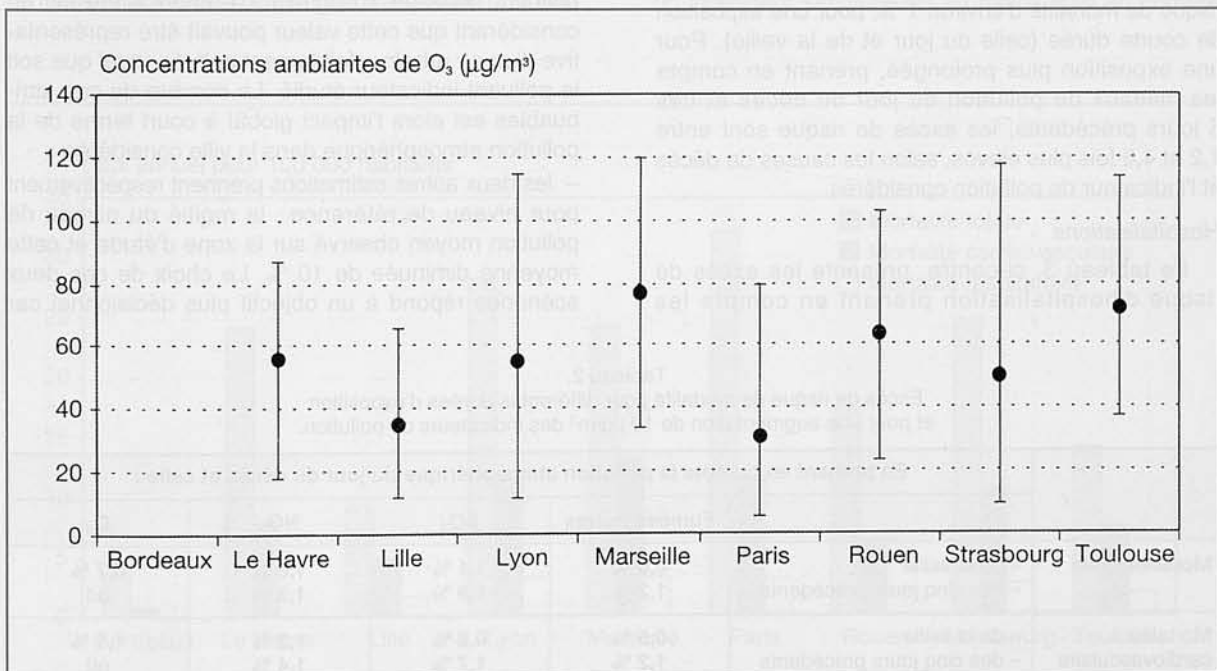


Figure 4.

Niveaux médians et variation des concentrations ambiantes de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans les neuf villes étudiées pendant la période 1990-1997.

La variation des concentrations ambiantes est exprimée par les 10^e et 90^e percentiles.

Note : l'absence d'information pour une ville indique que cet indicateur n'était pas mesuré pendant la période d'étude.

Les relations exposition/risque sont exprimées en pourcentage d'augmentation du risque ou excès de risque de mortalité (ou d'admissions hospitalières) à court terme et pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux d'indicateur de pollution.

L'impact sanitaire est exprimé en nombre annuel de décès (ou d'admissions hospitalières) attribuables à la pollution atmosphérique. Son calcul est effectué à partir des relations exposition/risque, à l'aide d'un logiciel élaboré par l'OMS et actualisé en collaboration avec le programme européen APHEIS.

Quelles sont les relations observées entre les indicateurs de pollution et les indicateurs sanitaires ?

Mortalité

Contrairement aux résultats de la phase I, pour une même augmentation du niveau de pollution atmosphérique, l'excès de risque peut être significativement différent d'une ville à l'autre. Cela est dû au fait que pour chaque indicateur de pollution, le nombre de villes disposant de cet indicateur est plus élevé que lors de la première phase : la variabilité générale des résultats sur l'ensemble des villes, pour chaque indicateur de pollution, est donc plus importante. Cette variabilité a été prise en compte dans les calculs de l'analyse combinée, permettant d'obtenir, pour chaque indicateur de pollution, un méta-risque considéré comme plus représentatif de la variabilité des situations de pollution urbaine françaises. Les résultats de l'analyse combinée, exprimés en excès de risque, sont présentés dans le tableau 2.

Une élévation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ du niveau des indicateurs de pollution est ainsi associée à un excès de risque de mortalité d'environ 1 %, pour une exposition de courte durée (celle du jour et de la veille). Pour une exposition plus prolongée, prenant en compte les niveaux de pollution du jour du décès et des 5 jours précédents, les excès de risque sont entre 1,2 et 4,6 fois plus élevés, selon les causes de décès et l'indicateur de pollution considérés.

Hospitalisations

Le tableau 3, ci-contre, présente les excès de risque d'hospitalisation prenant en compte les

niveaux de pollution du jour de l'admission et de la veille, ainsi que ceux prenant en compte une exposition plus prolongée, celle du jour de l'admission et des 5 jours précédents.

Pour les admissions pour pathologie cardiovasculaire, la seule association statistiquement significative concerne les admissions des 15-64 ans et l'indicateur SO_2 : l'excès de risque lors d'une exposition plus prolongée (0-5 jours) est de 1,4 %, soit légèrement supérieur à celui d'une exposition du jour et de la veille (0-1 jours).

Pour les pathologies respiratoires, les excès de risque sont plus souvent statistiquement significatifs pour le SO_2 et le NO_2 quelle que soit la tranche d'âge. Quand il est statistiquement significatif, l'excès de risque pour une exposition 0-5 jours est compris entre 1,9 et 3,7 %, soit 1,9 à 3,1 fois plus élevé que celui établi pour une exposition de plus courte durée.

Quel est l'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité ?

L'impact à court terme sur la mortalité est quantifié par le nombre annuel de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique. Le terme « anticipé » renvoie à la notion de décès qui n'auraient pas eu lieu ce jour-là, si l'exposition avait été égale au niveau choisi comme référence. Les estimations d'impact sanitaire ont été réalisées vis-à-vis de trois niveaux d'exposition de référence :

- la première estimation calcule un nombre de cas attribuables par rapport à un niveau de référence fixe de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de l'indicateur d'exposition (c'est-à-dire attribuable à l'exposition lorsque la concentration du polluant dépasse $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ce choix a été fait en considérant que cette valeur pouvait être représentative d'un air urbain « faiblement pollué » quel que soit le polluant indicateur étudié. Le nombre de cas attribuables est alors l'impact global à court terme de la pollution atmosphérique dans la ville considérée ;
- les deux autres estimations prennent respectivement pour niveau de référence : la moitié du niveau de pollution moyen observé sur la zone d'étude et cette moyenne diminuée de 10 %. Le choix de ces deux scénarios répond à un objectif plus décisionnel car

Tableau 2.
Excès de risque de mortalité pour différentes durées d'exposition et pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des indicateurs de pollution.

		En prenant en compte la pollution atmosphérique du jour du décès et celle :			
		Fumées noires	SO_2	NO_2	O_3
Mortalité totale	– de la veille	0,8 %	1,1 %	1,0 %	0,7 %
	– des cinq jours précédents	1,2 %	1,9 %	1,3 %	nd
Mortalité cardiovasculaire	– de la veille	0,5 %	0,8 %	1,2 %	1,1 %
	– des cinq jours précédents	1,2 %	1,7 %	1,4 %	nd
Mortalité respiratoire	– de la veille	0,7 %	1,1 %	1,3 %	1,2 %
	– des cinq jours précédents	2,1 %	5,1 %	3,4 %	nd

nd : non disponible.

Note : les excès de risque statistiquement significatifs sont présentés en caractères gras.

Tableau 3.
Excès de risque d'admission hospitalière pour différentes durées d'exposition
et pour une augmentation de 10 µg/m³ des indicateurs de pollution.

En prenant en compte la pollution atmosphérique du jour du décès et :					
		Fumées noires	SO ₂	NO ₂	O ₃
Pathologie cardiovasculaire (15-64 ans)	– de la veille – des cinq jours précédents	0,4 % 0,6 %	1,0 % 1,4 %	0,3 % 0,4 %	0 % nd
Pathologie cardiovasculaire (65 ans et +)	– de la veille – des cinq jours précédents	0,3 % 0,3 %	0,3 % 0,3 %	0,4 % 0,3 %	0,1 % nd
Pathologie respiratoire (0-14 ans)	– de la veille – des cinq jours précédents	1,8 % 4,7 %	1,2 % 2,6 %	1,2 % 3,7 %	0 % nd
Pathologie respiratoire (65 ans et +)	– de la veille – des cinq jours précédents	0 % 0 %	0,9 % 2,1 %	1,0 % 1,9 %	0,8 % nd

nd : non disponible.

Note : les excès de risque statistiquement significatifs sont présentés en caractères gras.

les niveaux de référence sont relatifs à la distribution locale de l'indicateur de pollution : quel serait le gain potentiel, en terme d'impact sanitaire, si on diminuait le niveau ambiant moyen, localement observé, de moitié (50 %) ou de 10 % de sa valeur ?

Dans les trois cas (Figures 5-7), le nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique est rapporté à 100 000 habitants et exprimé pour une année.

Dans chaque ville, l'impact sanitaire a été quantifié

pour chacun des polluants mesurés localement. Néanmoins, chaque polluant doit être considéré comme un indicateur d'exposition au mélange présent dans l'atmosphère urbaine et pas comme une substance chimique particulière (les interactions entre polluants sont multiples). Aussi, pour quantifier l'impact global de la pollution atmosphérique, les nombres de cas attribuables à chacun des polluants ne doivent pas être additionnés. L'hypothèse faite dans ce travail est que, dans une ville, l'impact sur un indicateur sanitaire est au moins égal au nombre

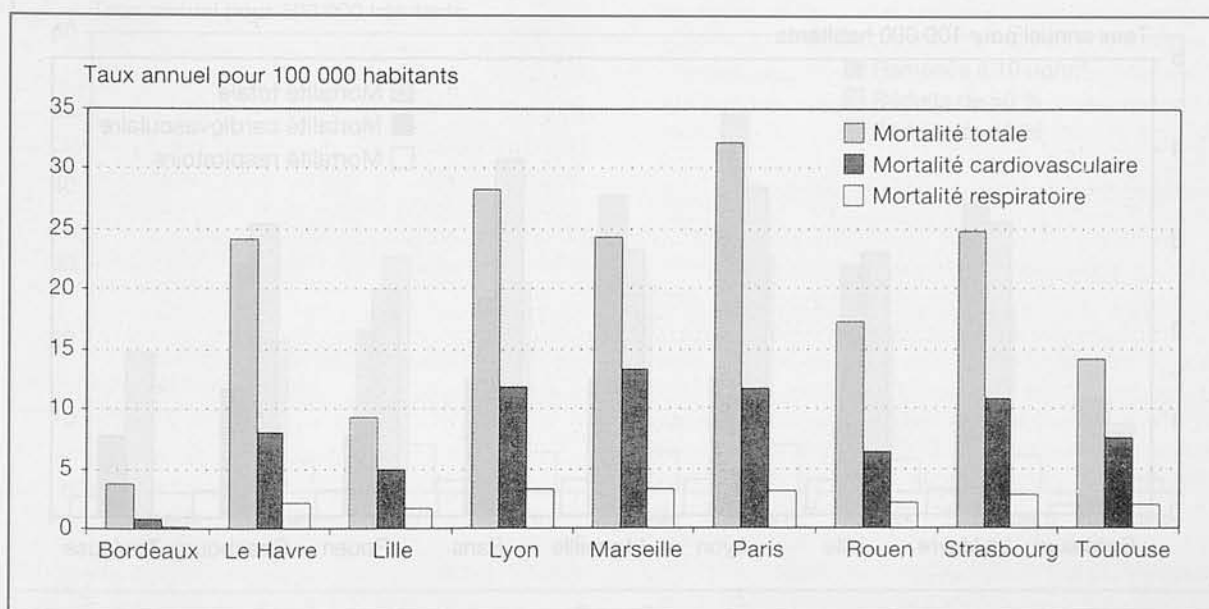


Figure 5.

Taux de décès anticipés potentiellement évitables par des niveaux d'indicateurs de pollution atmosphérique ramenés à 10 µg/m³ dans les neuf villes étudiées.

Les résultats de Bordeaux ne tiennent pas compte de la pollution photo-oxydante dont les indicateurs n'étaient pas disponibles.

de cas attribuables le plus élevé parmi ceux calculés pour les différents indicateurs d'exposition. L'indicateur d'exposition conduisant à l'impact le plus élevé peut donc être différent d'une ville à l'autre et, au sein d'une même ville, différent d'un indicateur sanitaire à l'autre.

Pour l'ensemble des neuf villes, le nombre annuel de décès anticipés attribuables à des niveaux de pollution atmosphérique supérieurs à 10 µg/m³ est de 2 786 pour la mortalité totale, 1 097 pour la mortalité cardiovasculaire et 316 pour la mortalité respiratoire (Figure 5, p. 377). Le nombre de décès anticipés

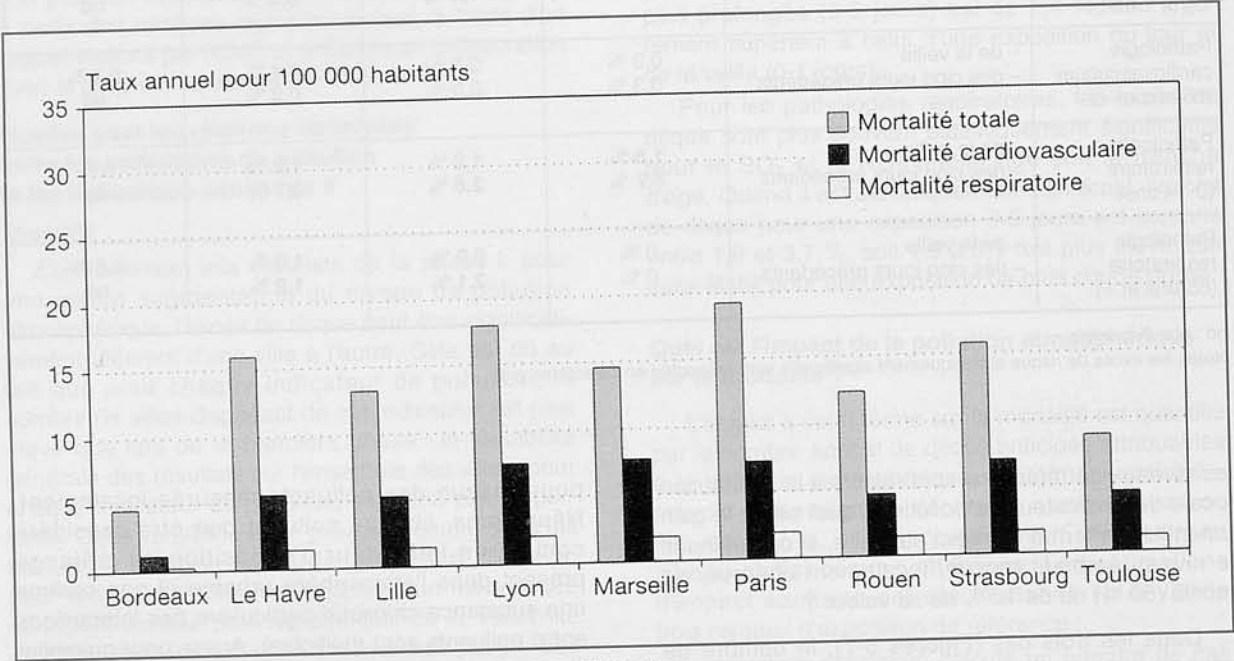


Figure 6.
Taux de décès anticipés potentiellement évitables par une réduction de 50 % des niveaux d'indicateurs de pollution atmosphérique dans les neuf villes étudiées.
Les résultats de Bordeaux ne tiennent pas compte de la pollution photo-oxydante dont les indicateurs n'étaient pas disponibles.

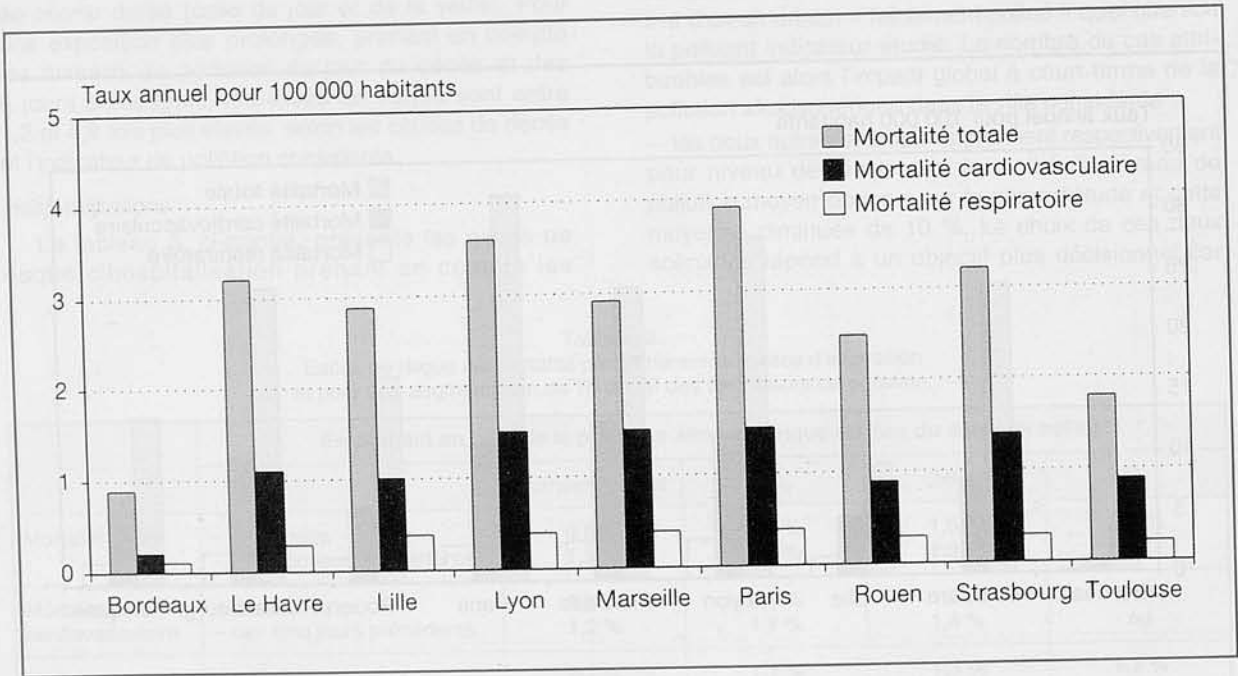


Figure 7.
Taux de décès anticipés potentiellement évitables par une réduction de 10 % des niveaux d'indicateurs de pollution atmosphérique dans les neuf villes étudiées.
Les résultats de Bordeaux ne tiennent pas compte de la pollution photo-oxydante dont les indicateurs n'étaient pas disponibles.

qui auraient pu être évités si les niveaux moyens de pollution avaient été réduits de 50 % est estimé à 1 834 pour la mortalité totale, 705 pour la mortalité cardiovasculaire et 209 pour la mortalité respiratoire (Figure 6, p. 378). Si le niveau moyen de pollution avait été réduit de 10 %, ces chiffres seraient de 367 pour la mortalité totale, 141 pour la mortalité cardiovasculaire et 42 pour la mortalité respiratoire (Figure 7, p. 378). À Bordeaux, ces résultats n'ont pas pu tenir compte de la pollution photo-oxydante, ce qui explique en partie, les taux annuels peu élevés dans cette ville.

D'une manière générale, ce sont les indicateurs de pollution photo-oxydante (NO_2 , O_3) qui conduisent le plus souvent au nombre de cas attribuables le plus élevé.

Quel est l'impact de la pollution atmosphérique sur les admissions hospitalières ?

Concernant les admissions hospitalières, seul l'impact sur les admissions pour causes respiratoires chez les moins de 15 ans a été estimé, à titre illustratif, en raison des incertitudes attachées à l'estimation du risque à partir de ce type d'indicateur (Figure 8). Les niveaux d'exposition de référence retenus sont les mêmes que pour la mortalité.

Les données d'exposition, pour la période d'étude des admissions hospitalières, n'étaient pas disponibles pour la ville de Bordeaux. Le nombre total d'admissions hospitalières qui auraient pu être évitées si les indicateurs de pollution étaient ramenés à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est estimé à 748 pour l'ensemble des

huit autres villes. Le nombre d'admissions hospitalières qui auraient pu être évitées si, dans chaque ville, les niveaux moyens de pollution étaient réduits de 50 % est estimé à 531. Ce nombre est de 106 pour un scénario de réduction des niveaux moyens de pollution de 10 %.

Ces effets peuvent-ils être dus à d'autres facteurs que la pollution atmosphérique ?

La méthode des séries temporelles utilisée permet de contrôler différents facteurs de confusion pouvant perturber l'estimation de la relation pollution/santé. Cette méthode a déjà été employée et validée dans de nombreuses études internationales. Sa particularité est que la population étudiée est son propre témoin : le risque est comparé pour différents niveaux d'exposition dans la même population. Sur une période relativement courte, de l'ordre de quelques années, les facteurs individuels tels que l'âge, le sexe, la catégorie socio-professionnelle peuvent être considérés comme constants en moyenne à l'échelle d'une population. De plus, le lieu de résidence, l'exposition dans l'habitat ou en milieu de travail, les modes alimentaires, les activités physiques, le tabagisme actif ou passif, etc., n'influencent pas la relation étudiée puisqu'ils ne sont pas liés aux variations journalières des niveaux de pollution. De ce fait, l'ensemble des facteurs de confusion individuels est contrôlé.

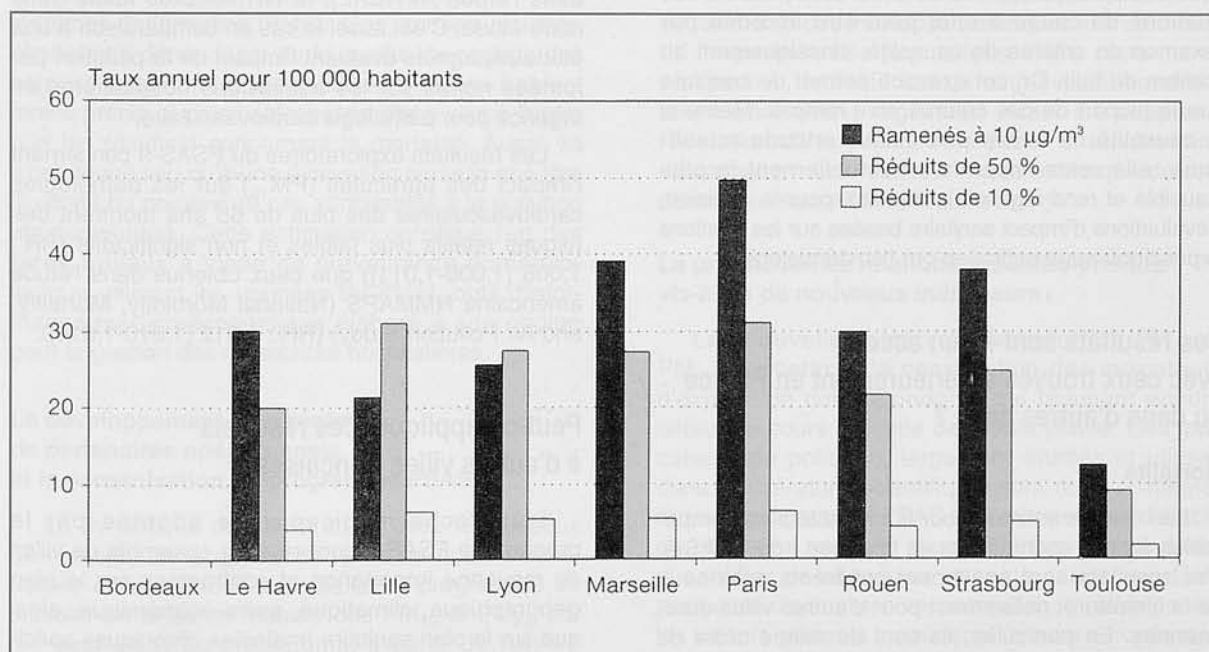


Figure 8.

Taux d'admissions hospitalières pour causes respiratoires potentiellement évitables, chez les moins de 15 ans des neuf villes étudiées, par des niveaux d'indicateurs de pollution atmosphérique ramenés à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ou réduits de 10 ou 50 %.

Les données d'exposition, pour la période d'étude des admissions hospitalières, n'étaient pas disponibles pour la ville de Bordeaux.

En revanche, il existe des facteurs de confusion temporels tels que des variations temporelles à long terme, saisonnières et hebdomadaires qui peuvent biaiser les estimations de la relation avec la pollution atmosphérique. Par exemple, le nombre de décès est habituellement plus faible le dimanche et le niveau de pollution atmosphérique urbaine est également plus faible ce jour-là. Ne pas prendre en compte ce phénomène aboutirait à surestimer la relation. Le contrôle des tendances temporelles, lors de l'analyse statistique, revient à modéliser le temps et donc à contrôler tous les facteurs, connus ou inconnus qui, par leurs variations temporelles, sont susceptibles de biaiser la relation.

Les variables météorologiques constituent également des facteurs de confusion potentiels dans l'étude de la relation à court terme entre la pollution atmosphérique et la mortalité ou les admissions hospitalières. En effet, un jour donné, les concentrations ambiantes dépendent fortement des conditions météorologiques qui conditionnent à la fois les émissions et les phénomènes de dispersion atmosphérique. Parallèlement, il est démontré que certaines situations météorologiques influencent l'état de santé et notamment la mortalité. Par exemple, la relation entre le taux de mortalité et la température est, le plus souvent, caractérisée par une courbe en forme de U : les fortes chaleurs et les périodes très froides étant reliées à un nombre plus élevé de décès. Ces variables météorologiques, facteurs de confusion potentiels, ont donc été également intégrées dans les modèles.

Cet examen des critères de validité (absence de biais potentiel) permet d'affirmer la réalité des relations observées. La question de savoir si celles-ci sont des relations de cause à effet peut être abordée par l'examen de critères de causalité, classiquement au nombre de huit. Or, cet exercice permet de conclure que la plupart de ces critères sont remplis. Même si la causalité ne relève pas d'une certitude scientifique, elle reste l'hypothèse actuellement la plus plausible et rend légitime l'utilisation, pour la décision, d'évaluations d'impact sanitaire basées sur les relations exposition/risque estimées par l'épidémiologie.

Ces résultats sont-ils en accord avec ceux trouvés antérieurement en France ou dans d'autres pays ?

Mortalité

Les risques estimés pour la mortalité sont comparables à ceux estimés lors de la phase I du PSAS-9. Ces résultats sont également cohérents avec ceux de la littérature, notamment pour d'autres villes européennes. En particulier, ils sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus pour sept grandes villes d'Europe de l'Ouest (dont Paris et Lyon) dans le cadre du projet APHEA1. On peut noter toutefois que les risques estimés pour l'indicateur NO_2 sont plus élevés dans notre travail. Les résultats concernant le

risque associé à une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ du niveau de fumées noires sur la mortalité totale sont également comparables à ceux observés dans le cadre du projet APHEA2, réalisé sur 29 villes européennes. L'hétérogénéité de certains risques entre les différentes villes, plus fréquente ici qu'au cours de la phase I, s'explique en partie par un nombre plus important de villes disposant de tous les indicateurs de pollution. Le métrisque estimé a pris en compte cette hétérogénéité et peut être considéré comme représentatif de l'ensemble des situations d'exposition urbaine françaises.

Hospitalisations

Les résultats paraissent moins cohérents pour les indicateurs d'admissions hospitalières. Exception faite des admissions pour causes respiratoires chez les moins de 15 ans, les risques sont le plus souvent inférieurs à ceux estimés pour la mortalité (ce qui est peu cohérent avec la littérature). Les résultats pour trois des indicateurs d'admissions hospitalières utilisés dans le programme PSAS-9 peuvent être comparés à ceux du projet APHEA2. Les risques relatifs (RR) associant les fumées noires et les indicateurs d'admissions hospitalières pour pathologie respiratoire chez les moins de 15 ans (admissions pour toutes pathologies respiratoires pour le PSAS-9, admissions pour asthme seulement pour APHEA 2) sont semblables pour les deux études. Il en est de même pour la pathologie respiratoire chez les 65 ans et plus et, dans ce cas, les RR ne sont significatifs dans aucune des deux études. En revanche, pour la pathologie cardiovasculaire (affections cardiaques et vasculaires pour le PSAS-9, cardiaques seulement dans l'étude APHEA2), le RR est plus faible dans notre étude. C'est aussi le cas en comparaison à une étude espagnole évaluant l'impact de la pollution par fumées noires sur les admissions hospitalières en urgence pour pathologie cardiovasculaire.

Les résultats exploratoires du PSAS-9 concernant l'impact des particules (PM_{10}) sur les pathologies cardiovasculaires des plus de 65 ans montrent des risques relatifs plus faibles et non significatifs (RR : 1,005 [1,000-1,011]) que ceux obtenus dans l'étude américaine NMMAPS (National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study) (RR : 1,012 [1,010-1,014]).

Peut-on appliquer ces résultats à d'autres villes françaises ?

L'approche multicentrique adoptée par le programme PSAS-9 concerne un ensemble de villes de moyenne importance et contrastées sur le plan géographique, climatique, socio-économique, ainsi que sur le plan sanitaire (maladies chroniques spécifiques à une région, etc.). Cette méthode permet d'identifier d'éventuelles différences (hétérogénéité) entre les villes quant aux effets de la pollution atmosphérique sur les indicateurs sanitaires. La prise en compte de cette hétérogénéité dans l'analyse multi-

centrique permet de penser que les risques relatifs estimés par l'analyse combinée sont ainsi vraisemblablement plus proches des risques relatifs « réels » que ceux estimés sur une seule zone urbaine. Pour cette raison, les relations exposition/risque établies dans le cadre du PSAS-9 et concernant la mortalité peuvent être appliquées, dans le cadre d'évaluations d'impact sanitaire, à d'autres agglomérations qui ne font pas partie du programme de surveillance.

Quelles sont les principales conclusions de cette phase II ?

La confirmation des résultats de la phase I

Les résultats de la phase II confirment et précisent les estimations des excès de risques pour la mortalité totale, cardiovasculaire et respiratoire liés à la pollution atmosphérique, estimés lors de la première phase. Par ailleurs, ces résultats ont mis en évidence un effet plus important de l'exposition cumulée sur plusieurs jours par rapport à celui d'une exposition du jour même et de la veille. Enfin, une certaine hétérogénéité géographique des résultats a été observée.

Des premiers résultats sur les admissions hospitalières

Une première estimation des effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la morbidité hospitalière, qui constituait l'objectif principal de la phase II, a pu être réalisée à partir des données d'admissions issues du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI). Ces premiers résultats, étroitement dépendants de la qualité du codage des séjours hospitaliers, apparaissent moins fiables, moins précis et plus hétérogènes d'une ville à l'autre que les résultats concernant la mortalité. Aussi, ils n'ont donné lieu qu'à une évaluation partielle et à titre illustratif du nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique. Cette estimation constitue l'un des rares travaux à visée de surveillance épidémiologique utilisant les données du PMSI, outil d'information médico-économique élaboré à son origine pour la gestion des ressources hospitalières.

Le développement d'un réseau de partenaires opérationnels et la pérennisation du programme PSAS-9

La dynamique de travail créée avec les réseaux de mesures de la qualité de l'air s'est encore développée et a contribué à l'installation progressive de stations urbaines de mesure des PM_{10} et $PM_{2,5}$ sur les neuf villes du programme, à partir de l'année 1999-2000. Parallèlement, la création d'un groupe de travail avec les médecins des départements d'information médicale a permis une collaboration qui devra se poursuivre et se renforcer pour adapter la surveillance aux évolutions régulières du PMSI.

La deuxième phase du programme a été réalisée dans la perspective de pérenniser le Programme de Surveillance Air et Santé. À cet égard, plusieurs outils spécifiquement développés permettent de faire de ce programme un véritable système de surveillance épidémiologique :

- outils informatiques facilitant et harmonisant le recueil de données et la construction des indicateurs d'exposition et d'admissions hospitalières ;
- manuel d'aide à la modélisation de séries temporelles, adapté à la problématique air et santé ;
- constitution d'une base de données permettant de conduire des analyses complémentaires, si nécessaire ;
- actualisation du logiciel d'évaluation d'impact sanitaire à court terme (EIS-PA) développé dans le cadre de la phase I de ce programme pour accompagner la mise en œuvre et l'évolution des PRQA.

Quelles sont les perspectives de ce programme ?

Les phases I et II du PSAS-9 se sont achevées de manière concluante vis-à-vis des objectifs liés à la loi sur l'air : fournir des outils épidémiologiques pour la prise de décision dans le champ de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé.

Une actualisation régulière des relations exposition/risque

Le mélange atmosphérique urbain évolue au fil des années, qualitativement et quantitativement. Il en est de même des méthodes statistiques et d'estimation de l'exposition des populations. Dans cette même perspective, le PMSI est un outil évolutif soumis à des modifications régulières visant à s'adapter à l'évolution de la pratique médicale et aux besoins d'information. Les relations exposition/risque doivent donc être réactualisées régulièrement.

La production de relations exposition/risque vis-à-vis de nouveaux indicateurs

Les nouvelles stations mesurant les PM_{10} et $PM_{2,5}$ permettront la construction des indicateurs d'exposition correspondants qui faisaient encore défaut au cours de cette deuxième phase. Ces indicateurs de pollution, largement étudiés et utilisés dans la littérature scientifique, sont donc à intégrer dans le programme PSAS-9 et permettront d'établir de nouvelles relations exposition/risque et peut-être d'identifier de nouveaux impacts sanitaires. Cela permettra d'alimenter en particulier la réflexion sur les valeurs guides à proposer au niveau européen.

De leur côté, les systèmes d'information sanitaires se développent, et de nouveaux indicateurs de l'état de santé de la population deviennent ou vont devenir accessibles comme, par exemple, des indicateurs de consommation médicamenteuse repré-

sentant une morbidité ambulatoire *a priori* plus sensible dans l'échelle de gravité des indicateurs sanitaires.

L'appui aux services déconcentrés de l'État

Un autre objectif de la pérennisation du PSAS-9 est non seulement de fournir des relations exposition/risque à court terme et de suivre leur évolution, mais également de venir en appui aux services déconcentrés de l'État pour la réalisation d'évaluations d'impact sanitaire (EIS) dans le cadre des PRQA et de leur suivi. De plus, dans le champ de l'aide à la décision, le programme PSAS-9 permettra l'évaluation des actions mises en place pour l'amélioration de la qualité de l'air.

L'articulation avec les programmes européens

Dans le champ de l'EIS, le PSAS-9 est étroitement lié au programme européen APHEIS, programme d'information sur les effets de la pollution atmosphérique sur la santé en Europe. La deuxième phase d'APHEIS avait pour objet la réalisation d'EIS, selon des procédures standardisées, dans 26 villes européennes dont les 9 villes françaises du PSAS-9.

L'articulation entre PSAS-9, dont l'expérience est parmi d'autres à l'origine d'APHEIS, et le programme européen permettra une synergie des travaux dans l'élaboration de relations exposition/risque, dans la

prise en compte des évolutions méthodologiques concernant l'EIS et dans la réflexion sur les modalités de diffusion des résultats pour leur prise en compte optimale dans les processus décisionnels et pour la meilleure information du grand public.

Par sa triple implication, locale, nationale et européenne, le programme PSAS-9 assurera pleinement sa mission de surveillance des effets sur la santé liés à une exposition, à court et à long terme, à la pollution atmosphérique et, par là même, apportera aux décideurs des éléments leur permettant d'orienter leurs priorités en matière de protection de la santé des populations.

Remerciements

Cette étude a bénéficié d'un financement du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (contrat n° 27/98).

Autorisations

Cette étude a reçu un avis favorable du Comité consultatif sur le traitement de l'information en matière de recherche dans le domaine de la santé (n° 98.060) ainsi que l'autorisation de la Commission nationale de l'informatique et des libertés (n° 998071).

Références

- Dab W, Ségala C, Dor F, et al. Pollution atmosphérique et santé : corrélation ou causalité ? Le cas de la relation entre l'exposition aux particules et la mortalité cardio-pulmonaire. *Pollution Atmosphérique* 2001 ; 170 : 219-35.
- Institut de Veille Sanitaire. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain : rapport de l'étude. Institut de Veille Sanitaire. Saint-Maurice, mars 1999 : 148 p.
- Institut de Veille Sanitaire. Programme de Surveillance Air et Santé - 9 villes. Phase II : rapport de l'étude. Institut de Veille Sanitaire. Saint-Maurice, juin 2002 : 184 p.
- Katsouyanni K, Touloumi G, Spix C, et al. Short-term effects of moderate levels of sulfur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities : results from the APHEA project. *BMJ* 1997 ; 314 : 1658-63.
- Künzli N, Medina S, Kaiser R, et al. Assessment of deaths attributable to air pollution : should we use risk estimates based on times series or on cohort studies ? *Am J Epidemiol* 2001 ; 153 : 1050-5.
- Le Tertre A, Quénel P, Medina S, et al. Modélisation des liens à court terme entre la pollution atmosphérique et la santé. Un exemple : SO₂ et mortalité totale, Paris, 1987-1990. *Rev Epidemiologie Sante Publique* 1998 ; 46 : 316-28.
- Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. *Journal officiel de la République française*, 1^{er} janvier 1997.
- Quénel P, Le Goaster C, Cassadou S, Eilstein D, Filleul L, Pascal L, Prouvost H, Saviuc P, Zeghnoun A, Le Tertre A, Medina S, Jouan M. Surveillance des effets sur la santé de la pollution atmosphérique en milieu urbain : étude de faisabilité dans 9 villes françaises. Objectifs et principes. *Pollution Atmosphérique* 1997 ; 156 : 88-95.
- Spix C, Anderson HR, Schwartz J, et al. Short term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe : a quantitative summary of APHEA study results. *Air Pollution and Health : a European Approach. Arch Environ Health* 1998 ; 53 (1) : 54-64.
- WHO Regional Office for Europe. Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment. *Environ Health Perspect* 2000 ; 108 : 997-1002.
- WHO Regional Office for Europe. Quantification of the health effects of exposure to air pollution. *European Centre for Environment and Health, Copenhagen*, October 2001: 38 p.