



# PARTICULES EN SUSPENSION ET SANTÉ PUBLIQUE : LES APPORTS DU PROGRAMME APHEIS

## I - LES EFFETS SUR LA SANTÉ DES PARTICULES EN SUSPENSION

Depuis une dizaine d'années, de nombreux travaux épidémiologiques ont pu mettre en évidence l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine (BRUNEKREEF et al. 2002; WHO 2003). En particulier, de nombreuses études de séries temporelles ont observé des associations entre les niveaux ambiants de particules en suspension et les variations à court terme de la mortalité (STIEB et al. 2002; FILLEUL et al. 2003; BELL et al. 2004).

Ainsi, les résultats de l'étude NMMAPS (National Mortality and Morbidity Study) montraient qu'une augmentation de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  du niveau moyen journalier de  $\text{PM}_{10}$  (particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns) dans 90 villes des Etats-Unis était associée à une augmentation de 0,21 % du nombre quotidien de décès hors causes accidentelles. En Europe, l'analyse combinée des 29 villes du projet APHEA-2 (Air Pollution and Health : a European Approach) montrait une augmentation de 0,6 % de la mortalité journalière, hors causes accidentelles. Des résultats similaires ont pu être observés dans le cadre du programme PSAS-9 qui porte sur 9 villes Françaises (LE TERTRE et al. 2002). Des effets à court terme de l'exposition aux particules ont également été observés pour d'autres événements de santé : admission à l'hôpital pour maladies respiratoires ou cardiovasculaires, apparition de symptômes respiratoires et recours aux médicaments chez des asthmatiques... (FILLEUL et al. 2003).

D'autre part, les résultats de plusieurs études de cohortes ont montré que l'exposition chronique aux particules fines pouvait provoquer une réduction substantielle de l'espérance de vie, causée par une augmentation de la mortalité à long terme

par maladies respiratoires et cardiovasculaires (DOCKERY et al. 1993; HOEK et al. 2002; POPE et al. 2002).

Jusqu'à récemment, les mécanismes expliquant ces observations épidémiologiques étaient mal compris. Des études toxicologiques ont depuis démontré les propriétés oxydantes et proinflammatoires des particules fines urbaines inhalées par l'appareil respiratoire (HEI 2002). La cascade de mécanismes inflammatoires et oxydants ainsi déclenchée pourrait alors expliquer les conséquences observées pour l'appareil respiratoire mais aussi pour l'appareil cardio-vasculaire (BROOK et al. 2004).

## II - QUANTIFIER L'IMPACT SANITAIRE

Avec l'accumulation de données épidémiologiques sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine, le besoin s'est fait sentir de pouvoir utiliser ces résultats pour informer les décideurs sur les bénéfices potentiels des politiques publiques visant à améliorer la qualité de l'air ambiant. En effet, si les risques relatifs estimés sont faibles, l'exposition concerne l'ensemble de la population des villes et, donc, l'impact sanitaire potentiel de mesures visant à diminuer les concentrations de polluants dans l'air ambiant est tout à fait significatif (KUNZLI 2002).

La démarche d'estimation de l'impact sanitaire (figure 1) consiste à extrapoler des relations exposition-risque estimées dans la littérature épidémiologique à une population cible, en utilisant les données locales sur les événements de santé considérés et sur l'exposition aux polluants, observée ou prédite, dans le cas où l'on cherche à modéliser l'impact de décisions futures (WHO 2001).

(1) Observatoire régional de la santé Nord-Pas-de-Calais, Lille, France

(2) Département Santé Environnement, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France

La démarche doit faire face à plusieurs questions méthodologiques importantes (InVS 1999; WHO 2001) :

- le choix des effets sur la santé à considérer (mortalité et morbidité, effets à court-terme et effets à long-terme) ;
- le choix des indicateurs de l'impact sanitaire (nombre de décès dans la population totale ou dans un sous-groupe de population, nombre d'hospitalisations, nombre d'années de vie perdues...) ;
- le choix de relations exposition-risque, ce qui suppose de faire une revue des données disponibles et de discuter de la possibilité de transposer localement une relation exposition-effet établie dans une autre population ;
- le choix des indicateurs d'exposition de la population aux polluants ;
- la prise en compte des caractéristiques locales du mélange de polluants dans l'atmosphère ;
- l'examen de la sensibilité des conclusions présentées aux hypothèses utilisées.

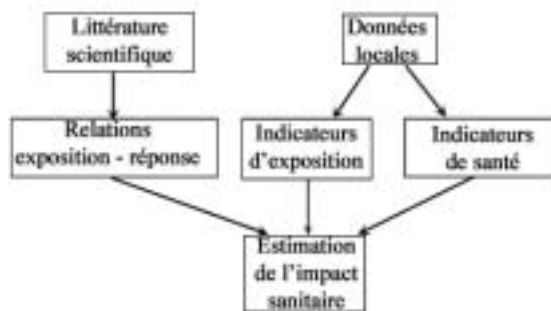


Figure 1: Schéma de principe de l'évaluation de l'impact sanitaire

### III - LES APPORTS DU PROGRAMME APHEIS

Le programme APHEIS (Air Pollution and Health : a European Information System) est coordonné par l'Institut de Veille Sanitaire (France) et l'Institut Municipal de Santé Publique de Barcelone (Espagne). Il vise à mettre en œuvre une démarche de quantification de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine, à l'échelle européenne. Vingt-six villes participent au programme : Athènes, Barcelone, Bilbao, Bordeaux, Bucarest, Budapest, Celje, Cracovie, Dublin, Gothenbourg, Le Havre, Lille, Ljubljana, Londres, Lyon, Madrid, Marseille, Paris, Rome, Rouen, Séville, Stockholm, Strasbourg, Tel Aviv, Toulouse et Valence, soit une population totale d'environ 39 millions d'habitants. Les neuf villes françaises participant au programme sont celles du programme PSAS-9 de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS 1999). APHEIS est cofinancé par la Direction Générale Santé et Protection des Consommateurs de la Commission Européenne et par les institutions participant au programme dans chaque ville. Le but de ce programme, mis en place en 1999-2000, est de fournir aux professionnels de l'environnement et de la santé européens, des informations actualisées et facilement utilisables sur la pollution de l'air et la santé.

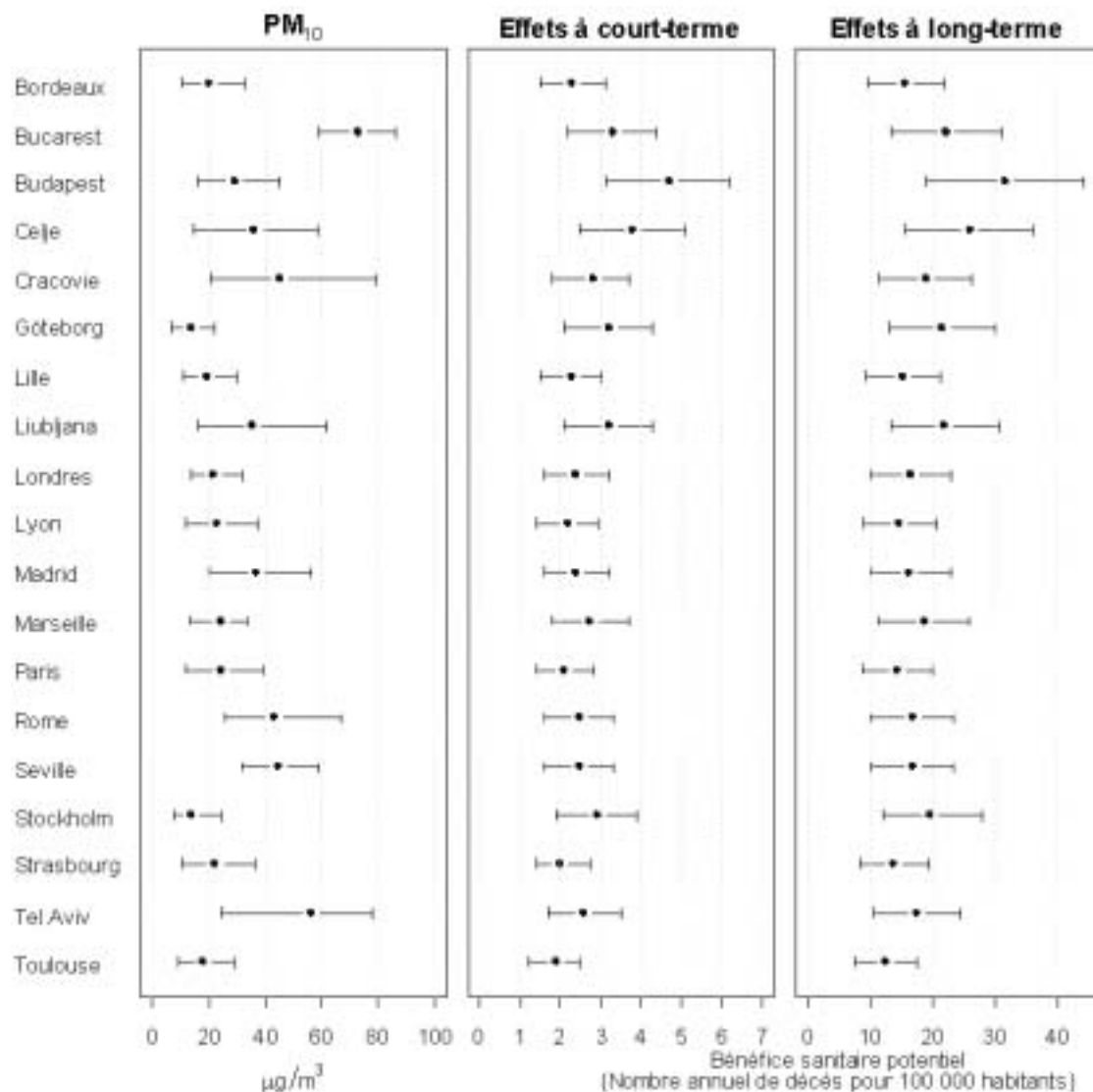
L'évaluation de l'impact sanitaire réalisé dans le programme APHEIS a porté sur les effets à court terme de la pollution atmosphérique par les particules (PM<sub>10</sub> et fumées noires) sur la mortalité et les admissions hospitalières pour pathologies respiratoires chez les personnes de plus de 65 ans et les effets à long terme des particules sur la mortalité (MEDINA et al. 2002). Nous présentons ici les résultats des 19 villes disposant de mesures des PM<sub>10</sub> (soit près de 32 millions d'habitants, dont environ 1 million de Lillois). Les niveaux moyens annuels de concentrations en PM<sub>10</sub> dans les 19 villes concernées varient de 14 µg/m<sup>3</sup> à Göteborg et Stockholm à 73 µg/m<sup>3</sup> à Bucarest (figure 2a). En ce qui concerne la communauté urbaine de Lille, la moyenne annuelle pour la période d'étude (2000) était de 19,5 µg/m<sup>3</sup>.

Le calcul de l'impact sanitaire des particules en suspension dans les 19 villes a été basé sur les relations exposition-risque estimées dans l'étude APHEA-2 (Air Pollution and health : a European approach) pour les effets à court terme (KATSOUYANNI et al. 2001). En ce qui concerne les effets à long terme, la fonction exposition-risque utilisée était celle établie dans le cadre d'une étude antérieure (KUNZLI et al. 2000), à partir de deux études de cohortes américaines (DOCKERY et al. 1993; Pope et al. 1995).

Les estimations d'impact sanitaire ont été calculées selon différents scénarii de réduction des concentrations atmosphériques, en prenant en compte les valeurs guides de la Directive 1999/30/CE du 22 avril 1999 concernant les concentrations de particules PM<sub>10</sub> à l'horizon 2005 et 2010. Pour les effets à court terme, 3 scénarii de réduction des niveaux de PM<sub>10</sub> ont été envisagés : réduction des concentrations à 50 µg/m<sup>3</sup>, à 20 µg/m<sup>3</sup> les jours où ces valeurs étaient atteintes ou dépassées, et une réduction des concentrations moyennes journalières de 5 µg/m<sup>3</sup>. Pour les effets à long terme, 4 scénarii ont été retenus : réduction des concentrations moyennes annuelles de particules à 40 µg/m<sup>3</sup>, à 20 µg/m<sup>3</sup>, et à 10 µg/m<sup>3</sup> et un scénario de réduction de 5 µg/m<sup>3</sup> de l'ensemble des valeurs journalières sur 24 heures.

Les résultats montrent qu'une réduction, même faible, des concentrations de PM<sub>10</sub>, apporterait un gain sanitaire non négligeable. En particulier, 11 855 décès anticipés (43 décès anticipés pour 100 000 habitants) pourraient être évités chaque année, si la valeur limite de 20 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>, imposée par la Commission Européenne à l'horizon 2010 pour une exposition à long terme, était respectée dans les 19 villes (32 millions d'habitants) mesurant ce polluant. De plus, pour ces mêmes villes, 5 547 décès anticipés (19 décès anticipés pour 100 000 habitants) pourraient être évités chaque année si l'exposition à long terme aux PM<sub>10</sub> était réduite de seulement 5 µg/m<sup>3</sup> même dans les villes les moins polluées (figure 2c). Les résultats de l'étude montrent également qu'au moins 15% de ces décès pourraient être évités si l'exposition à court terme aux PM<sub>10</sub> était réduite de 5 µg/m<sup>3</sup> (figure 2b).

En ce qui concerne la communauté urbaine de Lille, 166 décès anticipés (15,3 décès pour 100 000 habitants) pourraient être évités chaque année, si l'exposition à long terme aux PM<sub>10</sub> était réduite de seulement 5 µg/m<sup>3</sup>. Par ailleurs, 17



**Figure 2 : (a) PM<sub>10</sub> : moyenne annuelle, 10<sup>ème</sup> et 90<sup>ème</sup> percentiles - Bénéfice sanitaire potentiel d'une réduction de 5 µg/m<sup>3</sup> (b) sur les effets à court-terme et (c) sur les effets à long-terme.**

décès anticipés pourraient être évités si les niveaux journaliers de PM<sub>10</sub> ne dépassaient pas 20 µg/m<sup>3</sup> pour une exposition à court terme. Une diminution de 5 µg/m<sup>3</sup> de la moyenne annuelle des niveaux de PM<sub>10</sub> permettrait d'éviter 25 décès anticipés (2,3 pour 100 000 habitants).

#### IV - UN IMPACT SIGNIFICATIF SUR LA SANTÉ PUBLIQUE

D'autres exercices de quantification de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine ont été réalisés en France ces dernières années. Tout d'abord, le programme PSAS-9 a présenté les résultats d'une quantification de l'impact sanitaire dans 9 villes françaises, à partir des relations exposition-risque directement estimées dans les neuf villes du programme. La phase 2 de ce programme a permis d'étudier l'impact à court terme des PM<sub>10</sub>, du SO<sub>2</sub>, du NO<sub>2</sub> et de l'ozone sur la mortalité et les admissions hospitalières (InVS 1999). A la différence des résultats du programme APHEIS, les résultats de PSAS-9 sont limités aux effets à court-terme. D'autre part, les données concernant les particules en suspension n'étaient disponibles

que dans 3 des 9 villes. Les résultats concernant les particules sont avant tout exploratoires.

D'autre part, un travail d'estimation de l'impact sanitaire des particules en suspension a été réalisé sur l'ensemble de la population de 3 pays européens : Autriche, Suisse et France (KUNZLI et al. 2000). Il s'agit d'un travail très riche, utilisant en particulier des relations exposition-risque estimées dans deux études américaines pour quantifier l'impact à long-terme des particules sur la mortalité, mais aussi de nombreux indicateurs de morbidité. Par contre, les indicateurs d'exposition ont été estimés par modélisation des concentrations de PM<sub>10</sub> et non par des mesures. Selon les résultats de ce travail, l'impact de la pollution atmosphérique particulaire, par rapport à un niveau de référence de 7,5 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> représenterait, en France, 6 % de la mortalité totale en France soit environ 31 700 cas attribuables par an (pour des adultes de plus de 30 ans). Pour l'ensemble des 3 pays, le nombre de décès attribuables à la pollution particulaire serait d'environ 40 000 par an. D'autre part, la mortalité n'est qu'une partie de l'impact des particules sur la santé : KUNZLI et al. (2000) ont ainsi estimé qu'en Autriche, en Suisse et en France, 47000 nouveaux cas par an de bronchite chronique chez les adultes et 543 000 épi-

	PSAS-9	APHEIS	(Kunzli et al. 2000)	AFSSE (2004)
Effet	Court terme	Court terme et long terme	Long terme	Long terme
Indicateur de pollution	Fumées noires, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Indicateur de santé	Mortalité totale et spécifique, admissions hospitalières	Mortalité totale, admissions hospitalières	Mortalité totale, admissions hospitalières, incidence de pathologies respiratoires, absentéisme	Mortalité totale, mortalité par cancer du poumon et mortalité cardiopulmonaire.
Scénario	Scénario A : réduction à 10 µg/m <sup>3</sup> de tous les niveaux supérieurs à 10 µg/m <sup>3</sup>  Scénario B : réduction de 50% des niveaux moyens de pollution observés  Scénario C : réduction de 10% des niveaux moyens de pollution	Scénario A : réduction à 40 µg/m <sup>3</sup> de tous les niveaux supérieurs à 40 µg/m <sup>3</sup>  Scénario B : réduction à 20 µg/m <sup>3</sup> de tous les niveaux supérieurs à 20 µg/m <sup>3</sup>  Scénario C : réduction de 5 µg/m <sup>3</sup> des niveaux moyens annuels	Réduction à un niveau de référence de 7,5 µg/m <sup>3</sup>	Réduction à un niveau de référence de 4,5 µg/m <sup>3</sup>
Fonction exposition-risque (excès de risque en % pour une augmentation de 10 µg/m <sup>3</sup> )	Estimées dans le cadre de PSAS-9 : +0,7% à +1,1% selon l'indicateur de pollution	Issues de la littérature internationale : +0,6% à court terme et +4% à long terme pour 10 µg/m <sup>3</sup> d'augmentation de PM <sub>10</sub>	Issues de la littérature internationale : +4,3% pour 10 µg/m <sup>3</sup> d'augmentation des PM <sub>10</sub> ,	Issues de la littérature internationale : +4% pour 10 µg/m <sup>3</sup> d'augmentation des PM <sub>2,5</sub>
Population	11 millions d'habitants (9 villes françaises)	32 millions d'habitants (19 villes européennes)	Autriche, France et Suisse (population de plus de 30 ans)	15 millions d'habitants de plus de 30 ans (76 unités urbaines françaises)
Nombre de décès anticipés annuels estimés selon le scénario	Impact à court terme sur la mortalité : - scénario A : 2 800 décès annuels - scénario B : 1800 décès annuels - scénario C : 370 décès annuels	Impact à long terme sur la mortalité : - scénario A : 2500 décès annuels - scénario B : 11 800 décès annuels - scénario C : 5 500 décès annuels	Impact à long terme sur la mortalité : - Autriche : 5600 décès annuels - France : 31700 décès annuels - Suisse : 3300 décès annuels	Impact à long terme sur la mortalité : 6453 décès annuels

**Tableau 1 : Particularités des études PSAS-9 et des EIS**

sodes bronchiques chez les enfants étaient attribuables à la pollution particulaire.

Enfin, récemment, l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale (AFSSE) a présenté les résultats d'un exercice de quantification de l'impact à long-terme des PM<sub>10</sub> dans 76 unités urbaines françaises, où résident environ 15 millions d'habitants ([http://www.afsse.fr/documents/Rapport\\_1.pdf](http://www.afsse.fr/documents/Rapport_1.pdf)). Les indicateurs d'impact sanitaire retenus étaient la mortalité totale non accidentelle, la mortalité par cancer du poumon et par maladies cardio-respiratoires. Les auteurs ont utilisé comme indicateur d'exposition, les concentrations en PM<sub>2,5</sub> (particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns) estimées à partir des concentrations en PM<sub>10</sub>. Pour la mortalité totale chez les plus de 30 ans, l'exposition passée aux particules fines explique environ 3 % des décès incidents actuels (soit 6453 décès par an) par rapport à un niveau de référence de 4,5 µg/m<sup>3</sup>.

Des développements méthodologiques sont en cours : ils visent en particulier à mieux analyser l'impact à long-terme de l'exposition aux particules en suspension sur l'espérance de vie, en estimant les années potentielles de vie perdue (RABL 2003). D'autre part, l'analyse de la sensibilité des résultats aux choix méthodologiques devrait être développée.

Cependant, au delà des différences numériques (tableau 1) en rapport avec la taille des populations visées et les choix méthodologiques retenus, les résultats de ces différents travaux confirment l'impact sanitaire des particules en suspension dans nos villes. Le bénéfice sanitaire potentiel des actions de réduction des concentrations atmosphériques en particules en fait donc un enjeu important de santé publique.

## BIBLIOGRAPHIE

BELL ML, SAMET JM AND DOMINICI F (2004). "Time-series studies of particulate matter". *Annu Rev Public Health* 25: 247-80.

BROOK RD, FRANKLIN B, CASCIO W, HONG Y, HOWARD G, LIPSETT M, LUEPKER R, MITTLEMAN M, SAMET J, SMITH SC, JR AND TAGER I (2004). 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* 109: 2655-2671.

BRUNEKREEF B AND HOLGATE ST (2002). *Air pollution and health*. *Lancet* 360: 1233-42.

DOCKERY DW, POPE CA, XU X, SPENGLER JD, WARE JH, FAY ME, FERRIS BG AND SPEIZER FE (1993). "An association between air pollution and mortality in six US cities". *N Engl J Med* 329: 1753-9.

FILLEUL L, MEDINA S AND CASSADOU S (2003). "La pollution atmosphérique particulaire urbaine: de l'épidémiologie à l'impact sanitaire en santé publique". *Rev Epidemiol Sante Publique* 51: 527-42.

HEI (2002). *Understanding the health effects of components of the particulate matter mix: progress and next steps*. Cambridge, Health Effects Institute.

HOEK G, BRUNEKREEF B, GOLDBOHN S, FISCHER P AND VAN DEN BRANDT PA (2002). "Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study". *Lancet* 360: 1203-9.

InVS (1999). *Surveillance épidémiologique Air et Santé. Surveillance des effets sur la santé liés à la*

*pollution atmosphérique en milieu urbain*. Rapport de l'étude. Saint-Maurice, Institut de Veille Sanitaire.

KATSOUYANNI K, TOULOUMI G, SAMOLI E, GRYPARIS A, LE TERTRE A, MONOPOLIS Y, ROSSI G, ZMIROU D, BALLESTER F, BOUMGHAR A, ANDERSON HR, WOJTYNIAK B, PALDY A, BRAUNSTEIN R, PEKKANEN J, SCHINDLER C AND SCHWARTZ J (2001). Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology* 12: 521-31.

KUNZLI N (2002). "The public health relevance of air pollution abatement". *Eur Respir J* 20: 198-209.

KUNZLI N, KAISER R, MEDINA S, STUDNICKA M, CHANEL O, FILLIGER P, HERRY M, PUYBONNIEUX-TEXIER V, QUENEL P, SCHNEIDER J, SEETHALER R, VERGNAUD JC AND SOMMER H (2000). "Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment". *Lancet* 356: 795-801.

LE TERTRE A, QUENEL P, EILSTEIN D, MEDINA S, PROUVOST H, PASCAL L, BOUMGHAR A, SAVIUC P, ZEGHNOUN A, FILLEUL L, DECLERCQ C, CASSADOU S AND LE GOASTER C (2002). "Short-term effects of air pollution on mortality in nine French cities: a quantitative summary". *Arch Environ Health* 57: 311-9.

MEDINA S, PLASÈNCIA A, ARTAZCOZ L, QUÉNEL P, KATSOUYANNI K, MÜCKE H-G, DE SAEGER E, KRZYZANOWSKY M, SCHWARTZ J

and the contributing members of the APHEIS group (2002). *APHEIS Health Impact Assessment of Air Pollution in 26 European Cities*. Second year report, 2000-2001. Saint Maurice, Institut de Veille Sanitaire.

POPE CA, 3RD, BURNETT RT, THUN MJ, CALLEE EE, KREWSKI D, ITO K AND THURSTON GD (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama* 287: 1132-41.

POPE CA, THUN MJ, NAMBOODIRI MM, DOCKERY DW, EVANS JS AND SPEIZER FE (1995). "Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults". *Am J Respir Crit Care Med* 151: 669-74.

RABL A (2003). "Interpretation of air pollution mortality: number of deaths or years of life lost?" *J Air Waste Manag Assoc* 53: 41-50.

STIEB DM, JUDEK S AND BURNETT RT (2002). "Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: effects of gases and particles and the influence of cause of death, age, and season". *J Air Waste Manag Assoc* 52: 470-84.

WHO (2001). *Quantification of health effects of exposure to air pollution*. Report on a WHO Working Group, Bilthoven, Netherlands. 20-22 November 2000. Copenhagen, World Health Organization.

WHO (2003). *Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*. Copenhagen, World Health Organization.

