




Disponible en ligne sur  
 ScienceDirect  
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France  
  
www.em-consulte.com



SÉRIE « POLLUTION EXTÉRIEURE »

Coordonnée par D. Charpin et J.-C. Dalphin

## Fluctuations des taux de polluants atmosphériques et symptômes respiratoires en population générale

Respiratory symptoms and atmospheric pollution and respiratory symptoms in the general population

I. Simon<sup>a,\*</sup>, D. Charpin<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Département des maladies respiratoires, centre hospitalier de Le Mans, 194, avenue Rubillard, 72037 Le Mans, France

<sup>b</sup> Service de pneumologie-allergologie, hôpital Nord, AP-HM, 13015 Marseille, France

Reçu le 13 juillet 2009 ; accepté le 24 décembre 2009

Disponible sur Internet le 24 mai 2010

### MOTS CLÉS

Pollution de l'air ;  
Polluants  
atmosphériques ;  
Signes et symptômes  
respiratoires ;  
Maladies de  
l'appareil  
respiratoire ;  
Épidémiologie

### KEYWORDS

Air pollution;

### Résumé

*Introduction.* – Les études épidémiologiques sur la pollution atmosphérique se sont intéressées principalement aux effets à court ou long terme de la pollution atmosphérique sur les pathologies respiratoires. Peu d'études ont été consacrées à ses effets sur les symptômes respiratoires.

*État des connaissances.* – Les effets de la pollution atmosphérique sur les symptômes respiratoires dans la population générale ont été évalués dans une revue de la littérature sur les 16 dernières années. La majorité des études met en évidence une association significative entre l'exposition aux polluants atmosphériques et la présence de symptômes respiratoires sans effet seuil.

*Perspectives.* – Bien qu'un lien entre pollution atmosphérique et symptômes respiratoires soit mis en évidence, il est nécessaire d'approfondir nos connaissances des effets des polluants, particulièrement ceux jusqu'ici peu étudiés dans la population générale et les populations fragiles (nourrissons, jeunes enfants, personnes âgées).

*Conclusion.* – Des études complémentaires doivent être menées sur ce thème.

© 2010 SPLF. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

### Summary

*Introduction.* – Epidemiological studies on air pollution have mainly been interested in the effects of short- or long-term exposure on patients suffering from respiratory illnesses. Fewer

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : isimon@ch-lemans.fr (I. Simon).

Air pollutants;  
Signs and symptoms;  
Respiratory tract  
diseases;  
Epidemiology

Con studies have addressed the acute effects of air pollution on respiratory symptoms in the general population.

*State of the art.* – We conducted a review of the literature over the last 16 years that has addressed the impact of atmospheric pollution on respiratory symptoms in the general population to estimate the magnitude of effect. The majority of studies demonstrated a significant association between exposure to air pollutants and the occurrence of respiratory symptoms, without any threshold.

*Perspectives.* – Although a link between atmospheric pollution and respiratory symptoms has been demonstrated, knowledge of the effects of specific air pollutants and the effect of pollution on particular vulnerable groups (infants, young children, the elderly) is still limited.

*Conclusion.* – There is a need for further studies in this area.

© 2010 SPLF. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

## Introduction

De nombreuses études ont traité au cours des dernières années des effets à court terme ou à long terme de l'exposition à la pollution atmosphérique. L'impact sur la mortalité et la morbidité respiratoire a été particulièrement démontré dans les populations « à risque » (enfants, personnes âgées ou atteintes de comorbidités cardiaques ou respiratoires). Ces sujets sont traités dans d'autres articles de cette série.

Le lien entre les symptômes respiratoires dans la population générale et les fluctuations de la pollution atmosphérique ambiante a été moins considéré. C'est à ce lien qu'est consacrée cette revue de la littérature sur les 16 dernières années à partir des mots clefs : « *air pollution, air pollutants, respiratory symptoms, respiratory tract disease* » réalisée sur Pub Med Medline.

La relation entre les symptômes respiratoires (toux, dyspnée, sibillance) et les fluctuations de chaque polluant (particules, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) (Tableau 1) est analysée successivement chez les enfants et les adultes. Cette approche catégorielle polluant par polluant ne peut refléter que partiellement les effets néfastes de la pollution atmosphérique qui résultent de l'action additive ou synergique des polluants entre eux.

## Symptômes respiratoires et fluctuations des polluants atmosphériques chez les enfants

### Particules

Les particules mesurées sont soit les particules totales en suspension (PTS), soit les PM<sub>10</sub>, parfois PM<sub>2,5</sub> rarement PM<sub>0,1</sub> (Tableau 2). La mesure des PTS a moins d'intérêt du fait que les particules de taille supérieure à 10 µm sont en général arrêtées dans les voies aériennes supérieures et ne peuvent atteindre les voies aériennes inférieures. Les PM<sub>2,5</sub> du fait de leur plus faible calibre pénètrent dans les voies aériennes plus périphériques. Quant aux PM<sub>0,1</sub> ou particules ultrafines (taille des nanoparticules), elles ont une réactivité particulière dont les effets sanitaires demandent à être précisés.

Deux études menées en Amérique du Nord et en Europe n'établissent pas de lien entre symptômes respiratoires et pollution particulaire [2,3]. Trois mille six cent soixante-seize enfants, âgés de neuf à 16 ans, résidant dans 12 communes du sud de la Californie (1986–1990), ont participé à une étude prospective menée pendant dix ans : aucune relation significative entre l'exposition aux PM<sub>10</sub> et les symptômes respiratoires (toux, sifflements, bronchite) n'est apparue [2]. Lors du printemps et de l'été 1989, une étude épidémiologique conduite aux Pays-Bas auprès de 300 enfants, âgés de sept à 11 ans, a recueilli les symptômes respiratoires ainsi que les données de la mesure quotidienne des polluants dont les PM<sub>10</sub>. Les concentrations moyennes quotidiennes de PM<sub>10</sub> varient de 11 à 136 µg/m<sup>3</sup>. Aucune association n'est relevée entre les concentrations de PM<sub>10</sub> et la prévalence ou l'incidence des symptômes [3].

De nombreuses études conduites dans des pays de divers continents (Taiwan, Thaïlande, Chine, Grande-Bretagne, Suède, Suisse, Pays-Bas, Finlande, République Tchèque, Allemagne, États-Unis, Chili) montrent des liens entre symptômes respiratoires et pollution particulaire [4–19,21–23]. Un lien étroit entre symptômes respiratoires et pollution particulaire est mis en évidence dans les zones exposées (aux émissions industrielles, au trafic routier ou aux deux) par rapport aux zones moins exposées. En 1994–1995, 1660 questionnaires ont été collectés auprès de parents d'enfants âgés de huit à 12 ans résidant dans deux zones de Hong-Kong. Les normes de qualité de l'air de l'OMS y sont respectées mais une zone présente une plus forte teneur en polluants d'émissions industrielles et du trafic routier par rapport à l'autre zone résidentielle. Après ajustement sur les facteurs de confusion, les enfants vivant dans les zones les plus polluées présentent une prévalence accrue de toux fréquente, expectoration chronique et d'asthme diagnostiqué par le médecin avec des *odds ratio* (OR) respectifs de 1,74; 1,84 et 1,98 [4]. Une étude taïwanaise transversale a été conduite en 1997 pour déterminer la prévalence des symptômes et des maladies respiratoires chez 5072 écoliers vivant dans six zones de l'agglomération (deux exposées à la pollution du trafic automobile, trois exposées à la pollution industrielle pétrochimique et une rurale). Chaque site doté de stations de surveillance de la qualité de l'air mesure les polluants suivants : PM<sub>10</sub>, les oxydes d'azote (NOx), monoxyde d'azote (NO), NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, hydrocarbures totaux, non méthaniques et monoxyde de carbone

Tableau 1 Les polluants atmosphériques et leurs caractéristiques.			
Polluants	Type caractéristique	Sources	Normes de l'Organisation mondiale de la santé [1]
Particules	Mélange en suspension de particules solides ou liquides. Particules totales en suspension (PTS) (> 15 µm). Particules grossières (entre 2,5 et 10 µm). Particules fines (entre 2,5 et 0,1 µm). Particules ultra fines (< 0,1 µm)	Naturelles (volcans, feux de forêt, océans, érosions des sols, etc.). Anthropiques (combustion de fossiles industrielle ou domestique, incinérateurs, trafic routier)	Moyenne annuelle PM <sub>10</sub> : 10 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>2,5</sub> : 10 µg/m <sup>3</sup> Moyenne sur 24 heures PM <sub>10</sub> : 50 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>2,5</sub> : 25 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	Gaz incolore hydrosoluble	Naturelles (volcans) anthropiques : combustion de fossiles pour utilisation domestique ou industrielle (centrale thermique)	Moyenne annuelle : 20 µg/m <sup>3</sup> par 24 heures Moyenne de 10 min : 500 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Gaz aux propriétés fortement oxydantes	Zones urbaines principalement lié au trafic automobile	Moyenne annuelle : 40 µg/m <sup>3</sup> Moyenne horaire : 200 µg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	Polluant secondaire	Oxydant né d'une réaction photochimique entre hydrocarbures et oxydes d'azote	Moyenne de 8 heures : 100 µg/m <sup>3</sup>

(CO). La prévalence des symptômes respiratoires est plus élevée parmi les écoliers des zones urbaines et industrielles où les taux de PM<sub>10</sub> sont les plus élevés [5]. Une étude thaïlandaise a été menée de mai à août 2004 chez 878 enfants âgés de dix à 15 ans scolarisés dans des écoles de Bangkok situées près d'une station de surveillance de l'air. Quatre zones ont été distinguées en fonction du degré de pollution : zone hautement polluée du fait d'un trafic routier dense, hautement polluée, moyennement polluée et témoin. Les concentrations moyennes annuelles en PM<sub>10</sub> y sont respectivement de 65 ; 67,5 ; 52,2 et 47 µg/m<sup>3</sup>. La prévalence des symptômes respiratoires est plus importante après ajustement sur les facteurs de confusion dans les zones hautement et moyennement polluées par rapport à la zone contrôle [6]. En Chine, les effets à long terme de la pollution sur la santé ont été étudiés auprès de 7621 enfants âgés de cinq à 16 ans (sex-ratio 1/1) scolarisés dans huit districts (deux sites, un urbain un suburbain) dans quatre villes de 1993 à 1996. Une association statistiquement significative existe entre les PTS et la bronchite, la toux sèche et la toux productive avec une association plus forte pour les particules de taille comprise entre 2,5 et 10 µg/m<sup>3</sup> [7]. En Suisse, une étude menée entre 1992 et 1993 dans dix communautés a inclus 4470 enfants de six à 14 ans. L'analyse des données sur les symptômes respiratoires et des données issues de la surveillance de la qualité de l'air réalisée par les stations communales (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> et données météorologiques) montrent que l'association la plus forte est constatée avec les PM<sub>10</sub>. L'OR entre la commune la plus et la moins polluée avec la toux sèche, la toux nocturne et la bronchite est respectivement de 3,07 (IC de 1,62 à 5,81), de 2,88 (IC de 1,69 à 4,89) et de 2,17 (IC de 1,21 à 4,89) [8]. En Grande-Bretagne, l'association entre les PM<sub>10</sub> et l'incidence et la prévalence des symptômes respiratoires est étudiée dans un échantillon de 4400 enfants âgés d'un à cinq ans suivis entre 1998 et 2001. L'exposition aux PM<sub>10</sub> est associée à la préva-

lence de la toux sans infection, de la toux nocturne et de sifflement en 1998 et 2001. L'OR en 1998 et 2001, représentant l'association entre une augmentation de l'exposition moyenne des enfants à 10 µg/m<sup>3</sup> du taux des particules, est respectivement, en 1998 et 2001, pour la toux isolée de 1,21 (1,07 à 1,38) et de 1,56 (1,32 à 1,84), pour la toux nocturne de 1,06 (0,94 à 1,19) et 1,25 (1,06 et 1,47) et pour le sifflement de 0,99 (0,88 à 1,12) et 1,28 (1,04 à 1,58). La survenue de nouveaux symptômes est associée significativement aux PM<sub>10</sub> avec un OR de 1,62 (1,31 à 2) pour la toux sans infection et le sifflement : OR 1,42 (1,02 à 1,97) [9].

Les études montrent une augmentation de la prévalence des symptômes respiratoires liée à l'augmentation des concentrations de particules. Au printemps 1995, à Kuopio (Finlande), un questionnaire quotidien a été rempli par 49 enfants de huit à 13 ans pendant six semaines pour rechercher une relation entre les symptômes respiratoires et la période printanière où la pollution particulaire provient majoritairement de la remise en suspension de la poussière de la rue et du sol. L'association entre la pollution particulaire par PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et les symptômes respiratoires (dyspnée, sifflements, toux sèche) est significative. Les taux de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5-10</sub>, PM<sub>2,5</sub> sont significativement associés à la survenue d'une toux sèche avec un décalage de deux jours. Les taux de PM<sub>2,5</sub> sont statistiquement associés à la survenue quatre jours après d'une toux sèche. Une augmentation des PM<sub>10</sub> de 31 µg/m<sup>3</sup> et des PM<sub>2,5</sub> de 14 µg/m<sup>3</sup> au quatrième jour entraîne une augmentation de la toux respectivement de 15 et 48 %. L'expectoration est associée mais de façon non significative avec les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> [10]. Durant l'hiver 1995–1996, trois panels (adultes, infirmières, enfants) à Bangkok (Thaïlande) ont rempli un questionnaire quotidien durant trois mois consécutifs, avec parallèlement une mesure quotidienne des PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>. Dans le groupe des enfants (79 enfants de huit à 12 ans), l'augmentation des PM<sub>10</sub> de 45 µg/m<sup>3</sup> entraîne une augmentation de 30 % des

**Tableau 2** Études conduites chez les enfants.

Référence, lieu de l'étude, sites étudiés, moment de la mesure	Population étudiée (nombre, âge)	Méthode et pollution	Méthode et population	Résultat principal : association significative symptômes respiratoires et pollution atmosphérique
Peters [2], EU, Californie, 1986–1990, 1994	3676 sujets, 300 habitants/commune, 12 communes 150 de 9–10 ans 75 de 12–13 ans 75 de 15–16 ans	O <sub>3</sub> PM <sub>10</sub> NO <sub>2</sub> Acides	Questionnaire Harvard Six Cities, 24 Cities Study	Non sauf sibillance lors de l'exposition aux émissions d'aérosols d'acide [OR : 1,45] ; et NO <sub>2</sub> [OR : 1,54]
Hoek [3], Pays Bas, 1989	300 enfants : 7 à 11 ans	NO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Questionnaire WHO 1982	Non
Yu [4], Chine : Hong-Kong : 1994–1995	1660 enfants : 8 à 12 ans	SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> PTS	Questionnaire ATS DLD 78C	Oui Toux [OR : 1,74] Expectoration fréquente [OR : 1,74], expectoration chronique [OR : 1,84], asthme [OR : 1,9]
Chen [5], Chine, Taiwan, 1994–1997	5072 écoliers	PM <sub>10</sub> SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , THC, HC non méthaniques	Questionnaire type OMS	Oui Symptômes et maladies respiratoires plus fréquents dans les zones urbaines que rurales
Langkulsen [6], Thaïlande, Bangkok, 2004	878 enfants : 10 à 15 ans	PM <sub>10</sub>	Questionnaire ATS DLD 78 C	Oui Zones avec trafic [OR : 2,44] Zones hautement polluées [OR : 2,6]
Zhang [7], Chine, 1993–1996	7621 enfants : 5,4 à 16,2 ans	SO <sub>2</sub> Nox TPS PM <sub>10</sub> , PM <sub>&lt;2,5</sub>	Questionnaire ATS 1978	Oui PM <sub>10</sub> +++ PM <sub>2,5</sub>
Braun- Faseländer [8], Suisse, 1992–1993	4470 enfants 6 à 15 ans	SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> O <sub>3</sub> PM <sub>10</sub> Données météorolo-giques	Questionnaire spécifique incluant le questionnaire ISAAC	Oui pour SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> et PM <sub>10</sub> (+++) Pas d'effet seuil ni d'association entre les allergies

Pierse [9], Grande Bretagne, Leicestershire, 1998	4400 enfants : 1 à 5 ans	PM <sub>10</sub> Exposition moyenne calculée en 1998 et 2001	Questionnaire 1998 et 2001	Oui Toux [OR : 1,62] Sifflements : OR : [1,42]
Tiitanen [10], Finlande, Kuopio, 1995	49 enfants : 8 à 13 ans	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> TPS, FN, NO <sub>x</sub> Nombre de particules de 0,01 à 10 µm mesurées	Questionnaire	Non
Vichit Vadakan [11], Thaïlande, Bangkok, 1995—mars 1996	267 sujets Enfants (8–12 ans) : 79 Adultes : infirmières : 80 Résidents ou travailleurs < 2 km de la station de surveillance sans exposition : 92	PM <sub>10</sub> PM <sub>2,5</sub> Données météorologiques	Questionnaire	Oui avec augmentation proportionnelle
Ostro [12], Santiago de Chile, 1992–1993	Consultants de huit cliniques Nombre ? 565 visites quotidiennes Deux groupes : < 2 ans et 3 à 15 ans	PM <sub>10</sub> , O <sub>3</sub> Données météorologiques	Questionnaire	Oui pour PM <sub>10</sub> Oui pour O <sub>3</sub> < 2 ans
Hertz Piccioto [13], République Tchèque, mai 1994—mars 1999	1133 enfants nés entre mai 1998 et décembre 1999. Cohorte suivi de 0 à 3 ans ou 4,5 ans	PM <sub>2,5</sub> HAP	Questionnaire	Oui
Gehring [14], Europe, Allemagne, Munich, 1999	1756 enfants (cohortes GINA et LISA)	NO <sub>2</sub> PM <sub>10</sub> PM <sub>2,5</sub>	Questionnaire donné aux parents (GINI tous les 12 mois, LISA tous les 6 mois)	Association entre zones à fort trafic et toux
Rodriguez [15], Australie, Perth, juin 1996—juillet 1998	263 enfants Visite médicale à 6 semaines, 6 mois et annuelle	CO NO <sub>2</sub> O <sub>3</sub> PM <sub>2,5</sub> Température et humidité	Questionnaire	Oui même si taux des polluants < seuil réglementaire
Pino [16], Santiago de Chili, Chili, 1995–1996	504 nourrissons recrutés à 4 mois, suivis un an	PM <sub>2,5</sub> NO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub>	Protocole PEACE. Questionnaire	Association significative entre PM <sub>2,5</sub> et bronchite siffiante ↑10 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>2,5</sub> → RR bronchite : ↑5%
Nordling [17], Stockholm (Suède), 1994–1996	n = 4089 Étude prospective de cohorte de naissance à 4 ans	PM <sub>10</sub> NO <sub>x</sub>	Questionnaire parental à 2 mois et à 1, 2 et 4 ans	Oui entre sifflements à 4 ans et exposition au trafic routier [OR : 1,44]

Tableau 2 (Suite)

Référence, lieu de l'étude, sites étudiés, moment de la mesure	Population étudiée (nombre, âge)	Méthode et pollution	Méthode et population	Résultat principal : association significative symptômes respiratoires et pollution atmosphérique
Boezen [18], Pays-Bas, 1992–1993, 1993–1994, 1994–1995	632 enfants : 7 à 11 ans	SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> FN PM <sub>10</sub>	Questionnaire	Oui pour les patients allergiques
Bayer-Oglesby [19], Suisse, 1992–2001	9591 enfants : 6 à 15 ans	Estimation régionale de pollution particulaire	Questionnaire ISAAC	Oui Pas d'effet seuil
Studnicka [20], Autriche, 1991–1993	843 enfants : 2 à 8 ans	NO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Questionnaire ISAAC	Non sauf pour asthme et NO <sub>2</sub>
Kim [21], États-Unis, San Francisco, 2001	1109 questionnaires	PM <sub>10</sub> PM <sub>2,5</sub> NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> , NO Carbone noir	Questionnaires	Oui (trafic +++)
Pattenden [22], Autriche, Suisse, Russie, Italie, Pays-Bas, 1993–1999	23 955 enfants : 6 à 12 ans	SO <sub>2</sub> PM <sub>10</sub> NO <sub>2</sub>	Questionnaire	Non. Lien entre NO <sub>2</sub> et sensibilité aux allergènes inhalés et d'allergie aux animaux domestiques. Lien entre toux matinale et NO <sub>2</sub> lié aux associations avec les particules
Morgenstern [23], Allemagne, Munich, 1999–2000	3577 enfants de (cohorte prospective de naissance : GINI et LISA)	PM <sub>2,5</sub> PM <sub>10</sub> NO <sub>2</sub>	Questionnaire tous les 6 mois (LISA) tous les douze mois pour GINI. (trafic)	Oui (toux et bronchite et NO <sub>2</sub> ). Influence proximité du trafic
Yang [24], Taiwan, 1999	Deux écoles choisies sur distance à route à fort trafic < 1500 mètres (3221 enfants) > 1500 mètres (2969 enfants)	NO <sub>2</sub> Densité du trafic	Questionnaire l'ATS 1978 OMS 1982 Etude Harvard des 6 villes (1984)	Non



symptômes respiratoires [11]. De juillet 1992 à décembre 1993, les consultants de huit centres de santé de Santiago du Chili ont été suivis pendant 18 mois. Deux sous-groupes ont été créés : consultants âgés de moins de deux ans (221 visites par jour) et ceux âgés de trois à 15 ans (344 visites par jour). L'association entre les consultations motivées par des symptômes des voies respiratoires basses et la pollution particulaire est significative. L'augmentation de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  entraîne une augmentation des symptômes de 4 à 12 % pour les enfants âgés de moins de deux ans et de 3 à 9 % pour ceux âgés de trois à 15 ans [12]. En République Tchèque, 1133 enfants nés entre mai 1994 et décembre 1998 ont été suivis jusqu'à l'âge de trois ou quatre ans et demi. L'augmentation sur 30 jours du taux moyen en  $\text{PM}_{2,5}$  de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entraîne une augmentation du risque relatif de bronchite chez les moins de deux ans de 1,3 [IC à 95 % : 1,08–1,58] et chez ceux âgés de deux à 4,5 ans de 1,23 [IC à 95 % : 0,94–1,62] [13].

La toux semble le symptôme respiratoire lié de façon prédominante à la pollution particulaire (4 ; 7–10 ; 14–15).

Toutes les tranches d'âge sont concernées par l'augmentation de la prévalence des symptômes respiratoires liée à la pollution particulaire. Toutefois, les nourrissons et enfants de moins de deux ans apparaissent plus sensibles à ses effets. L'étude TRAPCA I Munich a été réalisée au sein de l'étude internationale Traffic Related Air Pollution on Childhood Asthma (TRACPA) à partir des données issues de deux cohortes distinctes d'enfants vivant à Munich (GINI : German Infant Nutritional Intervention Study et LISA : Life Style Factors on the Development of the Immune System and Allergies in East and West Germany). Elle a analysé en 1995 chez 1756 enfants pendant les deux premières années de leur vie, l'association entre les symptômes respiratoires (toux, dyspnée, bronchite, asthme, infections) et l'exposition aux  $\text{PM}_{2,5}$  et  $\text{NO}_2$  en utilisant un modèle d'exposition aux polluants. L'exposition moyenne aux  $\text{PM}_{2,5}$  est de 11 à  $21,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Une association significative entre la toux en dehors d'un rhume (OR : 1,34) et la toux nocturne (OR : 1,31) et les  $\text{PM}_{2,5}$  est trouvée dans la première année de la vie ; la seconde année, les effets sont atténués [14]. Une étude australienne longitudinale a étudié sur une période de six ans 263 enfants âgés de zéro à six ans sélectionnés de juin 1996 à 1998 en période prénatale sur leur propension à développer une atopie. Une association significative entre les  $\text{PM}_{2,5}$  et la toux est notée [15]. Une étude chilienne a suivi à Santiago de Chili pendant un an 504 nourrissons âgés de quatre à 12 mois d'avril 1995 à octobre 1996. Une association est relevée entre l'exposition aux  $\text{PM}_{2,5}$  et la survenue de bronchite sifflante mais pas d'association avec les taux de  $\text{NO}_2$  et  $\text{SO}_2$ . L'augmentation de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$  par 24 heures est associée à une augmentation de 5 % du risque de développer une bronchite sifflante [16]. Une étude prospective a recruté en Suède, de 1994 et 1996, 4089 enfants dont les parents ont répondu à un questionnaire à l'âge de deux mois, un, deux et quatre ans. L'exposition aux  $\text{PM}_{10}$  émanant du trafic routier lors de la première année de vie est associée à un risque accru de sifflements [17].

Un terrain allergique défini par l'augmentation des IgE totales et une hyperréactivité bronchique (HRB) semblent augmenter la sensibilité aux polluants. Six cent trente-deux enfants de sept à 11 ans de zones rurales et urbaines

des Pays-Bas ont tenu un journal quotidien notant les épisodes de dyspnée, sifflements et dyspnée avec sibilance chaque hiver de 1992 à 1995. Le groupe a été divisé en quatre sous-groupes en fonction de la présence ou non d'une HRB et de l'élévation des IgE totales. Sur les 459 réponses, le groupe avec hyperréactivité bronchique et taux élevé d'IgE présente une prévalence accrue des symptômes respiratoires des voies aériennes basses entre 32 et 139 % pour chaque augmentation de  $\text{PM}_{10}$  de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [18].

La diminution de la pollution particulaire du fait des réglementations adoptées entraîne une diminution de la prévalence des symptômes. Une étude transversale sur dix communautés suisses, rurales ou urbaines, portant sur deux périodes (1992 et 2001) a démontré que la réduction en  $\text{PM}_{10}$  est significativement associée avec une diminution de la prévalence de la toux chronique, de la toux sèche nocturne et de la bronchite [19].

- Il semble bien exister une relation entre l'intensité de l'exposition à la pollution aérienne particulaire et la symptomatologie respiratoire chez l'enfant.
- Vis-à-vis de la pollution particulaire, l'association entre symptômes respiratoires et pollution particulaire est la plus forte avec les  $\text{PM}_{10}$  mais il existe également une relation avec les  $\text{PM}_{2,5}$ .
- Les nourrissons et enfants de moins de deux ans apparaissent plus sensibles.
- Un terrain atopique augmenterait la sensibilité aux polluants.

## $\text{NO}_2$

La plupart des études conclut à un lien entre le  $\text{NO}_2$  et les symptômes respiratoires après prise en compte des facteurs de risque. L'association semble significative quelle que soit la zone (urbaine, rurale, suburbaine).

En Autriche, de janvier 1991 à décembre 1993, les pathologies et symptômes respiratoires ont été recensés parmi 843 enfants résidant depuis deux ans dans huit communautés rurales éloignées de toute source d'émissions industrielles. L'exposition à la pollution, en particulier le  $\text{NO}_2$ , a été évaluée sur trois ans. La prévalence des symptômes et des pathologies respiratoires est augmentée chez les populations exposées à un haut niveau de  $\text{NO}_2$ . Toutefois, l'association entre symptômes (sifflements et toux en dehors d'un rhume) et le  $\text{NO}_2$  n'atteint pas un seuil significatif, contrairement à l'asthme [20].

Dix communautés suisses ont été choisies en 1992–1993 sur des critères de conditions d'urbanisation, d'exposition à la pollution atmosphérique et de conditions climatiques différentes. Une association existe entre la toux chronique, la toux nocturne en dehors des infections et la bronchite et les concentrations de  $\text{NO}_2$  avec des OR respectivement de 1,58 ; 1,99 et 1,35 pour une moyenne de  $\text{NO}_2$  de 12 à  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [8]. Une étude transversale a été menée parmi 1109 écoliers de dix écoles de l'agglomération de San Francisco dont la qualité de

l'air est jugée satisfaisante mais avec des différences de concentrations plus élevées relevées près des écoles jouxtant ou sous le vent d'un axe de circulation à fort trafic. Une association apparaît entre la prévalence des symptômes respiratoires et les polluants liés au trafic particulièrement avec les NO, NO<sub>x</sub> et la survenue d'une crise d'asthme ou de bronchite dans les 12 mois précédents [21].

L'association entre la pollution par le NO<sub>2</sub> et les symptômes respiratoires est plus marquée dans les zones exposées à un fort trafic et à la pollution industrielle pétrochimique [4,5] même si les concentrations des polluants (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) sont en deçà des seuils réglementaires [4].

Les symptômes qui apparaissent liés au taux de NO<sub>2</sub> diffèrent d'une étude à l'autre : le NO<sub>2</sub> est significativement associé à la prévalence du symptôme de sifflement (OR : 1,54 ; IC à 95% : 1,08–2,19) [2], la toux ainsi que la bronchite sont associées de façon significative aux NO<sub>x</sub> [7–21], un lien apparaît entre la toux matinale et le NO<sub>2</sub> [22].

Deux études ont montré un lien entre allergie et NO<sub>2</sub> [18,22]. Les enfants n'ayant ni taux élevé d'IgE totales ni hyperactivité bronchique ne montrent pas d'augmentation des symptômes respiratoires après une pointe de pollution [18]. L'étude PATY [22] analyse la relation entre la santé et l'environnement dans 12 pays parmi 58 561 enfants âgés de six à 12 ans. Les données concernant 23 955 enfants de cinq pays (Pays-Bas, Russie Suisse, Italie, Autriche) sur six années ont été extraites et corrélées au taux de NO<sub>2</sub> ambiant après ajustement aux autres polluants (PM<sub>10</sub> et SO<sub>2</sub>). L'augmentation des taux de NO<sub>2</sub> de 10 µg/m<sup>3</sup> est associée à un risque accru d'allergies aux animaux domestiques et à une sensibilisation aux pneumallergènes avec un OR de 1,14 plus marqué dans la tranche d'âge des neuf à 12 ans que dans celle des six à huit ans. Trois études ont inclus des enfants de moins de deux ans. L'étude australienne longitudinale menée sur six ans recrutant 263 enfants sélectionnés en période prénatale montre que la survenue de la toux est associée au taux de NO<sub>2</sub> le même jour et aussi sur la période des cinq jours précédents [15]. L'étude TRAPCA I German révèle une association significative entre le NO<sub>2</sub> et la toux isolée (OR : 1,4) et la toux nocturne (OR : 1,36) dans la première année de la vie, la deuxième année les effets sont atténués comme pour les particules PM<sub>2,5</sub> [14]. L'étude TRAPCA German II portant sur 3577 enfants montre l'association entre l'incidence des symptômes respiratoires et les concentrations des polluants atmosphériques à l'adresse de naissance et de résidence lors de la première et de la deuxième années de vie. L'association est significative pour la première année de vie entre le NO<sub>2</sub> et la toux sèche et la bronchite [23]. Deux études ne montrent pas d'association significative entre les taux de NO<sub>2</sub> et la symptomatologie respiratoire après prise en compte des facteurs de confusion [22,24]. L'étude PATY réalisée dans cinq pays européens sur six ans et portant sur 23 955 enfants ne met pas en évidence de lien entre les concentrations moyennes en NO<sub>2</sub> et les symptômes respiratoires [22]. Une étude transversale a comparé à Taiwan deux groupes d'enfants : 3221 enfants scolarisés dans une école à proximité d'une zone à fort trafic routier (axe routier à 150 mètres) et 2969 enfants

scolarisés dans une école située dans une zone exposée à un faible trafic (axe routier à plus de 1500 mètres). La mesure de NO<sub>2</sub> était effectuée dans une classe de chaque école et une évaluation du trafic routier était réalisée par comptage devant chaque école. Aucun lien significatif n'apparaît entre les symptômes respiratoires recueillis par questionnaire et l'intensité du trafic routier, même si les concentrations de NO<sub>2</sub> étaient significativement plus élevées dans l'établissement localisé dans la zone à fort trafic [24].

### O<sub>3</sub>

L'association entre l'exposition à l'ozone et la présence de symptômes respiratoires paraît moins évidente qu'avec les autres polluants. Une association significative entre l'ozone et les symptômes des voies aériennes basses est mise en évidence pour les enfants de trois à 15 ans venus consulter dans les cliniques de Santiago du Chili de juillet 1993 à décembre 1993, avec une augmentation de la prévalence de 5% pour chaque augmentation de 50 ppb [12]. L'étude suisse portant sur 4470 enfants ne montre aucun lien en considérant les concentrations moyennes annuelles d'O<sub>3</sub>, mais en considérant les pics d'ozone (nombre d'heures par an), la toux sèche et la bronchite sont associées significativement avec les taux d'O<sub>3</sub> [8]. On relève une association négative entre le taux d'O<sub>3</sub> et la prévalence des symptômes respiratoires. L'effet paradoxal « protecteur » de l'O<sub>3</sub> a été plus attribué à la relation inverse qui lie le NO<sub>2</sub> et l'O<sub>3</sub> qu'à un effet biologique propre de l'O<sub>3</sub> [20]. L'étude épidémiologique réalisée aux Pays-Bas lors du printemps et de l'été 1989 auprès de 300 enfants, ne met pas en évidence d'association entre les concentrations d'ozone et la prévalence ou l'incidence des symptômes avec des concentrations maximales horaires variant de 14 à 114 ppb [3]. On note dans l'étude menée auprès de 3676 enfants de 12 communes de Californie une association négative entre l'exposition au pic d'ozone et une prévalence diminuée du diagnostic d'asthme porté par le médecin uniquement chez les filles [2]. Les symptômes respiratoires dans une population de 5072 écoliers taiwanais, en particulier la toux et la dyspnée, sont plus fréquents dans les zones urbaines où les taux d'ozone sont les plus bas par rapport aux zones exposées à la pollution pétrochimique où les taux sont plus élevés. Mais après ajustement sur les facteurs de confusion aucune corrélation n'est faite en fonction des polluants [5].

- Il existe un lien entre l'exposition au NO<sub>2</sub> et les symptômes respiratoires.
- Cette association est surtout marquée dans les zones exposées à un fort trafic et à la pollution industrielle pétrochimique.
- L'augmentation des taux de NO<sub>2</sub> majore le risque d'allergies aux animaux domestiques et de sensibilisation aux pneumallergènes. Les résultats concernant l'association entre ozone et survenue de symptômes des voies respiratoires basses sont disparates.



## SO<sub>2</sub>

Une association significative entre l'exposition au SO<sub>2</sub> et les symptômes respiratoires est relevée dans la plupart des études [5,7,8,18]. Le sifflement, l'asthme et l'expectoration chronique sont associés de façon significative aux taux de SO<sub>2</sub> [7]. Les moyennes annuelles de SO<sub>2</sub> sont corrélées de façon significative à la prévalence des symptômes rapportés de toux chronique sèche et de bronchite [8]. La prévalence des symptômes respiratoires est plus élevée dans les aires exposées à la pollution industrielle pétrochimique [5]. Il est démontré une plus grande sensibilité des sujets allergiques avec une prévalence des symptômes respiratoires qui augmente de 40 % un jour après l'augmentation du taux de pollution de SO<sub>2</sub> de 40 µg/m<sup>3</sup> et de 125 % sur la moyenne des cinq jours pollués chez les enfants présentant une hyperréactivité bronchique avec IgE élevées [18].

- La plupart des études relèvent une association significative entre l'exposition au SO<sub>2</sub> et les symptômes respiratoires chez l'enfant.

## Symptômes respiratoires et polluants atmosphériques chez les adultes

### Tous les polluants

Une enquête a été réalisée auprès de 4771 résidents âgés d'au moins 18 ans de New Delhi (Tableau 3). L'exposition aux PTS, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> est évaluée par le taux moyen mesuré au cours des dix dernières années. Le tabagisme, le sexe masculin, l'âge, un faible niveau socio-économique sont des facteurs de risque indépendants de la survenue de symptômes respiratoires chroniques. Cependant, dans le groupe des non-fumeurs, la toux et l'expectoration sont significativement plus fréquentes parmi les résidents des zones fortement polluées [25].

Les symptômes respiratoires de 327 sujets âgés de 50 à 70 ans ont été relevés pendant trois mois durant deux hivers consécutifs au Pays-Bas, parallèlement à une mesure des polluants suivants : SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, fumées noires (FN), PM<sub>10</sub>. La toux est associée de façon significative à tous les polluants atmosphériques (OR entre 1,03 et 1,08) dans le groupe présentant une hyperréactivité bronchique associée à une augmentation des IgE [30].

Les symptômes respiratoires de 489 patients âgés en moyenne de 60 ans résidant dans deux zones (une urbaine, une suburbaine) de Rotterdam et Amsterdam (Pays-Bas) ont été recueillis pendant trois mois durant trois hivers consécutifs. La surveillance de la qualité de l'air est réalisée par la mesure quotidienne des PM<sub>10</sub>, FN, SO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub>. Une association entre les polluants atmosphériques et la survenue de symptômes n'est retrouvée que chez les personnes symptomatiques résidant dans la zone urbaine [27].

## Particules

L'étude SAPALDIA I (Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases In Adults) [28] est une étude multicentrique transversale et longitudinale incluant 9651 adultes âgés de 18 à 60 ans menée sur huit communes suisses en 1991. Une association significative, après ajustement sur les facteurs de confusion, est notée pour chaque palier d'augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> entre les PTS et la prévalence de la dyspnée diurne, nocturne et la dyspnée d'effort. Dans la même étude, on relève aussi une corrélation entre les PM<sub>10</sub> et la prévalence de l'expectoration chronique, de la toux, de la dyspnée, diurne ou vespérale, d'effort. L'étude SAPALDIA II inclut 7109 de ces sujets auxquels on a proposé un nouvel entretien en 2002 avec une nouvelle estimation de l'exposition à la concentration moyenne de PM<sub>10</sub> au cours des 12 mois précédents. L'exposition résidentielle aux PM<sub>10</sub> est plus basse en 2002 par rapport à 1991 (déclin moyen 6,2 µg/m<sup>3</sup>, SD : 3,9 µg/m<sup>3</sup>). Cette diminution des taux de PM<sub>10</sub> peut être à l'origine de la régression de la morbidité respiratoire. Pour 10 000 personnes, 259 sujets (IC à 95 % : 102–416) n'ont plus de toux régulière, 179 (IC à 95 % : 30–328) sujets n'ont plus de toux chronique ou grasse et 137 (IC à 95 % : 9–266) sujets ne se plaignent plus de dyspnée ou sifflements [29].

L'étude des symptômes respiratoires de décembre 1998 à décembre 1999 parmi 1603 policiers affectés à six sites dans la ville de Bangkok qui ont été classés en fonction du degré de pollution en PM<sub>10</sub> des aires. La prévalence de la symptomatologie respiratoire augmente avec le taux de pollution. L'OR est de 1,1 pour chaque augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> pour les non-fumeurs [30].

De 1998 à 1999, une analyse des symptômes respiratoires a été réalisée chez 530 policiers et leurs femmes dans quatre zones géographiques classées en fonction de la distance au centre de Bangkok et du niveau de pollution particulaire. La dyspnée est plus fréquente parmi les policiers que parmi leurs épouses. La toux semble liée chez l'homme au tabagisme et à l'exposition aux émissions du trafic, et chez la femme liée au lieu de résidence [31].

En Thaïlande, la comparaison de 1998 à 1999 de 78 policiers exposés à un fort trafic (niveaux de PM<sub>10</sub> plus de 120 µg/m<sup>3</sup>) avec 60 policiers vivant en zone rurale avec une pollution particulaire par PM<sub>10</sub> moins de 60 µg/m<sup>3</sup> conclut à une prévalence plus élevée dans le groupe exposés par rapport aux sujets témoins sans association significative du fait de la faible taille de la population [32].

Une étude sur a été menée à Mexico avec une mesure des concentrations de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO et particules sur 32 stations de 1996–1997. Une alerte à la pollution déclenchait une visite à domicile dans des quartiers sélectionnés. Les enquêteurs procédaient à un entretien au cours duquel les résidents répondaient à un questionnaire. Deux cent quatre-vingt-dix questionnaires ont été remplis quotidiennement, soit 74 000 en deux ans. On trouve une association statistiquement significative entre symptomatologie respiratoire et taux moyen de pollution, avec cependant pour les PM<sub>10</sub> une variation de la symptomatologie en fonction des zones [33].

Deux études n'ont pu mettre en évidence de lien entre symptômes respiratoires et exposition à la pollution particulaire. L'étude de 20 746 parents et enfants

**Tableau 3** Études menées chez les adultes.

Référence, lieu de l'étude, sites étudiés, moment de la mesure	Population étudiée (Nombre, Âge)	Méthode et Pollution	Méthode et Population	Résultat principal
Chhabra [25], Inde, New Delhi Date?	4771 adultes (> 18 ans)	PTS SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> Étude rétrospective sur 10 ans Dates?	Questionnaire mixte (British Medical Research Council National Health Lung and Blood Institute ATS)	Oui (parmi les non-fumeurs)
Boezen [26], Pays-Bas, deux hivers : 1993–1994, 1994–1995	327 sujets 50 à 70 ans 4 groupes classés sur critères IgE et hyperréactivité bronchique	PM <sub>10</sub> SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> FN	Protocole PEACE. Questionnaire ECHRS	Oui dans le groupe IgE + et hyperréactivité bronchique
Van der Zee [27], Pays-Bas, Rotterdam, Amsterdam, 1992–1993, 1993–1994, 1994–1995	489 patients Âge : 60 ans	PM <sub>10</sub> FN SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub>	Questionnaire ECRHS	Oui
Zemp [28], Suisse, 1991	9651 résidents depuis au moins trois ans 18 à 60 ans	PM <sub>10</sub> FN SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> TSP O <sub>3</sub>	Questionnaire ECRHS IUALD	Oui y compris taux bas de pollution atmosphérique
Schindler C [29], Suisse 1991–2002	7109 adultes Âge?	PM <sub>10</sub> 12 mois avant l'examen	Questionnaire ECRHS IUALD	Oui. ↓ exposition sur 11 ans au PM <sub>10</sub>
Tamura [30], Bangkok, Thaïlande, décembre 1998 à 1999	1603 policiers	PTS PM <sub>10</sub>	Questionnaire ATS version Thai	Oui (trafic urbain)
Karita [31], Thaïlande, Bangkok, décembre 1998–décembre 1999	530 policiers et leurs femmes	PM <sub>10</sub>	Questionnaire ATS-DLD version Thai	Oui (policiers associé au tabagisme et à l'exposition professionnelle sur des voies à fort trafic routier); femmes pollution résidentielle

Karita [32], Thaïlande, Bangkok, 1998 à 1999	138 policiers 20 à 60 ans Deux groupes 78 policiers exposés au trafic urbain ( $PM_{10} > 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 60 policiers dans zone rurale ( $PM_{10} < 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{10}$	Q ATS DLD 78	Non mais la prévalence était plus élevée dans le groupe exposé/témoïn
Sanchez-Carillo [33], Mexique, Mexico, 1996–1997	290 entretiens quotidiens sur 74 000 résidences	CO Particules, $SO_2$ $NO_2$ $O_3$	En cas d'alerte de pollution : une maison sur deux visitée au moins trois fois dans la journée	Oui pour l' $O_3$ non-fumeurs avec $\uparrow 10$ ppb d' $O_3$ OR : 1,003
Zulkarian [34], Indonésie, octobre 1996–1997	20 746 enfants et leurs parents Âge moyen : enfants 14 ans, mères 38–40, pères 41–45 ans	$NO_2$ $PM_{10}$ $PM_{2,5}$	Questionnaire ATS 1978 version Indonésie	Oui avec le $NO_2$
Bennet [35], Australie, Melbourne, 2003–2005	1446 participants issus de deux cohortes 37,2 ans	$PM_{2,5}$	Questionnaire EHRCs en 1998–1999, 2004–2005	Non
Forsberg [36], Suède, 55 sites, 1989–1990	6109 sujets 16 à 70 ans	Fumées noires $NO_2$ $SO_2$	Questionnaire	Oui

(âgés de plus de 14 ans) sélectionnés dans 28 écoles de quatre villes indonésiennes a conclu à l'absence de lien entre les symptômes respiratoires et l'exposition à la pollution particulaire  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$  [34]. L'étude australienne comprenant 14 446 adultes (âge moyen 37 ans) n'a pas mis en évidence d'association significative entre exposition aux  $PM_{2,5}$  et les symptômes respiratoires [35].

## NO<sub>2</sub>

L'association significative entre le NO<sub>2</sub> et les symptômes respiratoires est relevée dans toutes les études [25–28, 34, 36]. L'étude indonésienne portant sur 20 746 sujets a mis en évidence une corrélation entre le taux de NO<sub>2</sub> et les symptômes de toux persistante et d'expectoration [34]. Chaque augmentation du taux de NO<sub>2</sub> s'accompagne d'une plus grande intensité des symptômes [28], ainsi que d'une sensibilisation accrue aux polluants en cas de terrain allergique [26]. L'association se constate dans des pays où les concentrations en NO<sub>2</sub> se trouvent dans les limites des valeurs réglementaires. Ainsi, dans une population suédoise de 6109 personnes âgées de 16 à 70 ans (moyenne d'âge de 43 ans pour les femmes et de 45 ans pour les hommes), on relève une association significative entre le taux de NO<sub>2</sub> et les symptômes respiratoires des voies aériennes avec une fourchette de concentration annuelle de 9 à 32 µg/m<sup>3</sup> en deçà des seuils de la qualité de l'air [36].

## O<sub>3</sub>

Aucune augmentation de la prévalence des symptômes respiratoires n'est relevée avec les concentrations d'ozone dans l'étude suédoise SAPALDIA I [28] contrairement à l'étude mexicaine où l'OR est de 1,003 (IC : 1,002–1,005) pour une augmentation de 10 ppb d'O<sub>3</sub> déclenchant l'alerte [33].

## SO<sub>2</sub>

Toutes les études recensées concluent à une association entre prévalence des symptômes respiratoires et concentrations en SO<sub>2</sub>. Une association est observée avec des valeurs de SO<sub>2</sub> ne dépassant pas les seuils réglementaires (SO<sub>2</sub> de 2 à 16 µg/m<sup>3</sup>) [36].

- Chez l'adulte, tous les polluants majorent les symptômes respiratoires.
- On note une association significative entre les PTS et la prévalence des symptômes respiratoires (sauf dans deux études).
- Toutes les études relèvent une association significative entre le NO<sub>2</sub> et les symptômes respiratoires, et entre le SO<sub>2</sub> et les symptômes respiratoires.
- Les résultats concernant l'O<sub>3</sub> sont disparates.

## Discussion

Cette revue de la littérature internationale porte sur les publications parues au cours des 16 dernières années sur les liens entre symptômes respiratoires et pollution atmosphérique dans la population générale. On dénombre 23 articles consacrés aux enfants [2–24] (Tableau 2), 12 aux adultes [25, 36] (Tableau 3).

Les symptômes respiratoires sont recensés pour la moitié à partir des questionnaires auto-administrés [9–18, 21–23, 33, 36] et l'autre moitié par des questionnaires posés par un enquêteur, souvent adaptés aux conditions de vie locales. Le questionnaire ATS 78 DLC [37] est utilisé neuf fois dont huit versions modifiées\* [4; 6\*–7\*; 24\*–25\*; 30\*–32\*; 34\*], le questionnaire OMS [38] trois fois dont deux dans une version modifiée\* [3, 5\*; 24\*], le questionnaire European Community Respiratory Health Survey [39] cinq fois [26–29, 35], les questionnaires Harvard Studies Six Cities [40] dans deux études [2, 24], 24 Cities Studies [41] dans une étude [2] et ISAAC International Study of Asthma and Allergy in Childhood [42] trois fois [8; 1920], le questionnaire IUALD une fois [29].

Le profil de la pollution atmosphérique a évolué au cours des dernières décennies avec une diminution de la part du dioxyde de soufre et du CO et l'augmentation des taux de particules et du dioxyde d'azote, marqueurs du trafic automobile. Ainsi le NO<sub>2</sub> et les  $PM_{10}$  sont les polluants les plus étudiés avec respectivement 21 [2–5, 8, 14–16, 18, 20–28, 33, 34, 36] et 24 [2, 5–12, 14, 17, 18, 21–23, 26–32, 34] études qui leur sont consacrées. Les particules fines sont jusqu'à présent peu dosées : seules dix études prennent en compte les  $PM_{2,5}$  [7, 11, 13–16, 21, 23, 34, 35]. Les NO<sub>x</sub> sont mesurés dans cinq études [5, 7, 10, 17, 21]. L'O<sub>3</sub> polluant secondaire dont le taux est inversement lié au NO<sub>2</sub> est mesuré dans neuf études [2, 3, 5, 8, 12, 15, 20, 28, 33]. Le SO<sub>2</sub> est encore très souvent pris en compte (15 études) du fait de l'implication dans ces études de nombreux pays émergents avec forte activité industrielle [3–5, 7, 8, 16, 18, 20, 22, 25–28, 33, 36]. Enfin, les PTS et FN auparavant marqueurs de la pollution sont moins utilisées avec huit et cinq études respectivement [4, 7, 10, 19, 25, 28, 30, 33] et [10, 18, 26–28]. Le carbone noir et les hydrocarbures sont mesurés de façon anecdotique chacun dans une étude [5, 21]. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques ne sont mesurés que dans une seule étude [13]. Neuf études comportent la mesure d'un polluant [6, 19, 20, 24, 29, 31, 32, 35], cinq de deux polluants [11–13, 17, 30], neuf de trois polluants [3, 4, 14, 16, 22, 23, 25, 34, 36], six de quatre polluants [2, 8, 15, 18, 26, 27], trois de cinq polluants [7, 10, 33], deux de six polluants [21, 28], une de huit polluants [5].

Les résultats des études confirment les effets délétères du SO<sub>2</sub> sur la santé respiratoire. Les effets de l'O<sub>3</sub> sont discutés, celui-ci semblant provoquer principalement des symptômes oculaires et des voies aériennes supérieures. La majorité des études démontre une association entre symptômes respiratoires et exposition au NO<sub>2</sub> et aux particules. Les connaissances des effets sur l'appareil respiratoire de l'exposition aux particules fines et ultrafines doivent être approfondies. Les États membres de l'Union européenne devront respecter la moyenne annuelle de 25 µg/m<sup>3</sup> en particules fines  $PM_{2,5}$  sur l'ensemble de leur territoire dès

2010 depuis le vote le 14 avril 2008 de la dernière directive européenne sur la qualité de l'air. La mesure des  $PM_{2,5}$  devrait ainsi se généraliser et aider ces études. Une seule étude inclut la mesure des HAP [13]. Elle conclut qu'une augmentation de  $100 \text{ ng/m}^3$  d'hydrocarbures aromatiques polycycliques résulte en un risque relatif de bronchite de 1,29 [IC à 95 % : 1,07–1,54] jusqu'à l'âge de deux ans et de 1,56 [IC à 95 % : 1,22–2,00] de deux ans à quatre ans et demi. Il est donc nécessaire de mieux analyser la taille des particules et la composition chimique de la pollution.

Il existe un lien entre symptomatologie respiratoire et pollution atmosphérique, que cette dernière provienne d'émissions pétrochimiques dans les zones industrielles ou d'émissions du trafic dans les zones urbaines. On constate pour les enfants comme pour les adultes que l'augmentation de la concentration en polluants entraîne l'augmentation de la prévalence des symptômes respiratoires. Cette association entre la prévalence des symptômes respiratoires et les polluants existe alors que les normes réglementaires de concentrations des polluants sont respectées. Il n'existe pas d'effet seuil. Ainsi en Suisse où les concentrations en polluants sont peu élevées, les symptômes respiratoires et allergiques augmentent avec l'intensité de l'exposition aux polluants atmosphériques [8,19] mais également en Suède [17,36], en Chine [5] ou au Mexique [33]. L'étude SAPALDIA II montre par ailleurs que la réduction des niveaux de particules en Suisse pendant une période de 11 ans avait un effet favorable sur les symptômes respiratoires des adultes [29].

Plus de deux tiers des études s'intéressent à la santé respiratoire des enfants du fait de leur plus grande vulnérabilité lors de l'exposition aux polluants atmosphériques par rapport aux adultes. Celle-ci s'explique physiologiquement par la formation postnatale de 80% des alvéoles et de la croissance du poumon jusqu'à l'adolescence mais également du fait d'une exposition plus élevée car le temps passé à l'extérieur est plus important avec souvent une activité physique engendrant une hyperventilation. Mais la majorité des études concerne des enfants en âge scolaire. Seules sept études incluent des enfants de moins de deux ans et leurs résultats font apparaître que les nourrissons sont plus sensibles aux effets de la pollution que les enfants plus âgés [9,12–16,23].

Les études s'intéressant spécifiquement aux personnes âgées sont rares alors que les recommandations sanitaires des pouvoirs publics ciblent cette catégorie de la population considérée appartenir aux « catégories sensibles ».

Deux études mettent en évidence un intérêt social et économique de la réduction de la pollution atmosphérique. Une étude montre que la diminution du taux de  $NO_2$  permettrait en Indonésie de réduire les dépenses liées à la pollution en diminuant les dépenses médicales et le nombre de journées de travail perdues [35]. Le seuil d'alerte pour l' $O_3$  a été abaissé au Mexique en démontrant que les symptômes respiratoires augmentent significativement si le taux d'ozone excède 281 ppb [33].

## Conclusion

Cette revue de la littérature confirme, dans la population générale, l'association entre l'incidence et la prévalence des symptômes respiratoires et l'exposition aux polluants

atmosphériques, en particulier ceux liés aux émissions du trafic routier et aux activités industrielles avec l'absence d'effet seuil. Des investigations complémentaires menées avec une méthodologie épidémiologique et métrologique rigoureuse sont nécessaires pour approfondir les connaissances des effets sur la symptomatologie respiratoire de l'exposition aux polluants atmosphériques, en particulier aux particules, hydrocarbures aromatiques polycycliques et dioxyde d'azote dans la population générale et plus spécifiquement chez les personnes âgées et les très jeunes enfants.

### POINTS ESSENTIELS

- Une étude polluant par polluant ne reflète que partiellement les effets néfastes de la pollution atmosphérique globale.
- Tous les polluants majorent les symptômes respiratoires.
- Le profil de la pollution atmosphérique a évolué ces dernières décennies, avec une diminution de la part du dioxyde de soufre et du monoxyde carbone et l'augmentation des taux de particules et du dioxyde d'azote.
- Les études confirment les effets délétères du  $SO_2$ , du  $NO_2$  et des particules sur la santé respiratoire, et les effets de l' $O_3$  sont discutés.
- Les effets des particules fines et ultrafines restent à évaluer plus précisément.
- Il n'existe pas d'effet seuil de la pollution.

## Conflit d'intérêt

Les auteurs n'ont pas déclaré de conflits d'intérêt.

## Références

- [1] [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair\\_aqg/en/index.html](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/en/index.html).
- [2] Peters JM, Avol E, Navidi W, London SJ, Gauderman WJ, Lurmann F, et al. A study of twelve southern California communities with differing levels and type of air pollution. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:760–7.
- [3] Hoek G, Brunekreef B. Effect of photochemical air pollution on acute respiratory symptoms in children. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;151:27–32.
- [4] Yu TSI, Wong TW, Wang XR, Song H, Wong SL, Tang JL. Adverse effects of low level air pollution on the respiratory health of schoolchildren in Hong-Kong. *J Occup Environ Health* 2001;43:310–6.
- [5] Chen PC, Lai YM, Wang JD, Yang CY, Hwang JS, Kuo HW, et al. Adverse effects of air pollution on respiratory health of primary school children in Taiwan. *Environ Health Perspect* 1998;106:331–5.
- [6] Langkulsen U, Jinsart W, Karita K, Yano E. Respiratory symptoms and lung function in Bangkok school children. *Eur J Public Health* 2006;16:676–81.
- [7] Zhang J, Hu W, Wei F, Wu G, Korn LR, Chapman RS. Children's respiratory morbidity prevalence in relation to air pollution in four Chinese cities. *Environ Health Perspect* 2002;110:961–7.



- [8] Braun-Fahrländer C, Vuille JC, Sennhauser FH, Neu U, Künzle T, Grize L, et al. Respiratory health and long-term exposure to air pollutants in Swiss schoolchildren. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;155:1042–9.
- [9] Pierse N, Rushton L, Harris RS, Kuehni CE, Silverman M, Grigg J. Locally generated particulate pollution and respiratory symptoms in young children. *Thorax* 2006;61:216–20.
- [10] Tiitonen P, Timonen KL, Ruskanen JJ, Mirme A, Pekkanen J. Fine particulate air pollution, resuspended road dust and respiratory health among symptomatic children. *Eur Respir J* 1999;13:266–73.
- [11] Vichit-Vadakan N, Ostro BD, Chestnut LG, Mills DM, Aekplakorn W, Wangwongwatana S, et al. Air Pollution and respiratory symptoms: results from three panel studies in Bangkok, Thailand. *Environ Health Perspect* 2001;109:381–7.
- [12] Ostro BD, Eskeland GS, Sanchez JM, Feyzioglu T. Air pollution and health effects: a study of medical visits among children in Santiago, Chile. *Environ Health Perspect* 1999;107:69–73.
- [13] Hertz Piccioto I, James Baker R, Yap PS, Dostal M, Joad JP, Lipsett M, et al. Early childhood lower respiratory illness and pollution. *Environ Health Perspect* 2007;115:1510–8.
- [14] Gehring U, Cyrus J, Sedlmeir G, Brunekreef B, Bellander T, Fischer P, et al. Traffic related air pollution and respiratory health during the first 2 yrs of life. *Eur Respir J* 2002;19:690–8.
- [15] Rodriguez C, Tonkin R, Heyworth J, Kusel M, De Klerk N, Sly PD, et al. The relationship between outdoor air quality and respiratory symptoms in young children. *Int J Environ Health Res* 2007;17:351–60.
- [16] Pino P, Walter T, Oyarzun M, Villegas R, Romieu I. Fine particulate matter and wheezing illness in the first year of life. *Epidemiology* 2004;15:702–8.
- [17] Nordling E, Berglind N, Melén E, Emenius G, Hallberg J, Nyberg F, et al. Traffic related air pollution and childhood respiratory symptoms, function and allergies. *Epidemiology* 2008;19:401–8.
- [18] Boezen HM, Van der Zee SC, Postma DS, Vonk JM, Gerritsen J, Hoek G, et al. Effects of ambient air pollution on upper and lower respiratory symptoms and peak expiratory flow in children. *Lancet* 1999;353:874–8.
- [19] Bayer-Oglesby L, Grize L, Gassner M, Takken-Sahli K, Sennhauser FH, Neu U, et al. Decline of ambient air pollution levels and improved respiratory health in Swiss children. *Environ Health Perspect* 2005;113:1632–7.
- [20] Studnicka M, Hackl E, Pischinger J, Fangmeyer C, Haschke N, Kühn J, et al. Traffic-related NO<sub>2</sub> and the prevalence of asthma and respiratory symptoms in seven-year olds. *Eur Respir J* 1997;10:2275–8.
- [21] Kim JJ, Smorodinsky S, Lipsett M, Singer BC, Hodgson AT, Ostro B. Traffic-related air pollution near busy roads. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;170:520–6.
- [22] Pattenden S, Hoek G, Braun-Fahrländer C, Forastiere F, Kosheleva A, Neuberger M, et al. NO<sub>2</sub> and children's respiratory symptoms in the PATY study. *Occup Environ Med* 2006;63:828–35.
- [23] Morgenstern V, Zutavern A, Cyrus J, Brockow I, Gehring U, Koletzko S, et al. Respiratory health and individual estimate exposure to traffic-related air pollutants in a cohort of young children. *Occup Environ Med* 2007;64:8–16.
- [24] Yang CY, Yu ST, Chang CC. Respiratory symptoms in primary schoolchildren living near a freeway in Taiwan. *J Toxicol Environ Health* 2002;56:747–55.
- [25] Chhabra SK, Chhabra P, Rajpal S, Gupta RK. Ambient air pollution and chronic respiratory morbidity in Dehli. *Arch Environ Health* 2001;56:58–64.
- [26] Boezen HM, Vonk JM, Van der Zee SC, Gerritsen J, Hoek G, Brunekreef B, et al. Susceptibility to air pollution in elderly males and females. *Eur Respir J* 2005;25:1018–24.
- [27] Van der Zee SC, Hoek G, Boezen MH, Schouten JP, Van Wijnen JH, Brunekreef B. Acute effects of air pollution on respiratory health of 50–70-yr-old adults. *Eur Respir J* 2000;15:700–9.
- [28] Zemp E, Elsasser S, Schindler C, Künzli N, Perruchoud AP, Domenighetti G, et al. Long-term air pollution and respiratory symptoms in adult's (SAPALDIA study). *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:1257–66.
- [29] Schindler C, Keidel D, Gerbase MW, Zemp E, Bettschart R, Brändli O, et al. Improvements in PM<sub>10</sub> exposure and reduced rates of respiratory symptoms in a cohort of Swiss adults (SAPALDIA). *Am J Respir Crit Care Med* 2009;179:579–87.
- [30] Tamura K, Jinsart W, Yano E, Karita K, Boudoung D. Particulate air pollution and chronic respiratory symptoms among traffic policemen in Bangkok. *Arch Environ Health* 2003;58:201–7.
- [31] Karita K, Yano E, Tamura K, Jinsart W. Effects of working and residential local areas on air pollution related respiratory symptoms in policemen and their wives in Bangkok, Thailand. *Eur J Public Health* 2004;14:24–6.
- [32] Karita K, Yano E, Jinsart W, Boudoung D, Tamura K. Respiratory symptoms and pulmonary function among traffic police in Bangkok, Thailand. *Arch Environ Health* 2001;56:467–71.
- [33] Sanchez-Carrillo CI, Ceron-Mireles P, Rojas-Martinez MR, Mendoza-Alvarado L, Olaiz-Fernandez G, Borja-Aburto V. Surveillance of acute health effects of air pollution in Mexico City. *Epidemiology* 2003;14:536–44.
- [34] Zulkarnain Duki MI, Sudarmadi S, Suzuki S, Kawada T, Tri-Tugaswati A. Effect of air pollution on respiratory health in Indonesia and its economic cost. *Arch Environ Health* 2003;58:135–42.
- [35] Bennet CM, Simpson P, Raven J, Skoric B, Powell J, Wolfe R, et al. Associations between ambient PM<sub>2.5</sub> concentrations and respiratory symptoms in Melbourne, 1998–2005. *J Toxicol Environ Health* 2007;70:1613–8.
- [36] Forsberg B, Stjernberg N, Wall S. Prevalence of respiratory and hyper reactivity symptoms in relation to levels of criteria air pollutants in Sweden. *Eur J Public Health* 1997;7:291–6.
- [37] Ferris Jr BG. Epidemiology standardization project (ATS). *Am Rev Respir Dis* 1978;118:1–120.
- [38] WHO children's questionnaire and notes. In: *Methods for Cohort Studies of Chronic Airflow Limitation* (Florey CDV, Leeder SR, eds). Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe; 1982. p. 112–21.
- [39] Burney PGJ, Luczynska C, Chinn S, Jarvis D. The European health survey. *Eur Respir J* 1994;7:954–60.
- [40] Ware JH, Ferris Jr BG, Dockery DW, Spengler JD, Stram DO, Speizer FE. Effects of ambient sulfur oxides and suspended particles on respiratory health of preadolescent children. *Am Rev Respir Dis* 1986;133:834–42.
- [41] Dockery DW, Damokosh AI, Neas LM, Raizenne M, Spengler JD, Koutrakis P, et al. Health effects of acid aerosols on North American children: respiratory symptoms and illness. *Am Rev Respir Dis* 1993;147:A633 [abstract].
- [42] Asher MI, Anderson Hr, Beasley R, Crane J, Martinez FD, Mitchell EA, et al. International study of asthma and allergies in childhood (ISAAC): rationale and methods. *Eur Respir J* 1995;8:483–91.