



HAL
open science

Impact de la pollution atmosphérique sur la consommation de soins

Philippe Quénel, Sylvia Medina, Philippe Pirard, Isabelle Momas, Yvon Le
Moullec, Ruth Ferry, Bernard Festy, William Dab

► **To cite this version:**

Philippe Quénel, Sylvia Medina, Philippe Pirard, Isabelle Momas, Yvon Le Moullec, et al.. Impact de la pollution atmosphérique sur la consommation de soins. *Pollution Atmosphérique: climat, santé, société*, 1993, janvier-mars, pp.87-101. hal-04820603

HAL Id: hal-04820603

<https://hal.science/hal-04820603v1>

Submitted on 5 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Impact de la pollution atmosphérique sur la consommation de soins

Revue de la littérature des études épidémiologiques publiées entre 1980-1990

Impact of air pollution on health services A review of epidemiological studies (1980-1990)

par Philippe QUENEL (*), Sylvia MEDINA (**), Philippe PIRARD (**), Isabelle MOMAS (***),
Yvon LE MOULLEC (****), Ruth FERRY (**), Bernard FESTY (****), William DAB (*****)

RÉSUMÉ

Nous présentons les résultats d'une synthèse bibliographique portant sur 24 études épidémiologiques publiées entre septembre 1979 et mars 1991 concernant les effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la consommation de soins.

Le nombre élevé d'études rapportant une relation significativement positive entre la pollution atmosphérique et l'activité sanitaire, apparaît comme un élément de validation de l'utilisation de telles données pour mesurer les effets de la pollution atmosphérique sur la santé de la population.

L'utilisation d'indicateurs de consommation de soins est particulièrement indiquée pour l'étude des effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la santé et, en particulier, pour mesurer en termes de santé publique, l'impact des épisodes aigus de pollution atmosphérique qui surviennent régulièrement en milieu urbain.

Cette approche ouvre la voie de la surveillance épidémiologique de la pollution, laquelle, couplée à la surveillance météorologique des polluants, permet d'apporter une réponse plus claire et explicite concernant les risques sanitaires liés à la survenue d'épisodes aigus de pollution atmosphérique.

ABSTRACT

A review of 24 epidemiological studies published between september 1979 and march 1991 is presented. All these studies have been carried out in order to assess the short term effects of air pollution on health services.

Most of them conclude to a statistical positive relationship between air pollutants levels and health services activity. These results argue for using such indicators to estimate the health effects of air pollution.

Health services indicators are usefulness for measuring the short term health effects of air pollution, specially for measuring the public health impact of air pollution peaks which often occur among cities.

This approach paves the way to the epidemiological surveillance of air pollution. Linked to the monitoring of pollutants, it gives a clearer and more explicit response regarding the public health impact of air pollution peaks.

Introduction

Dès les années 50, à la suite de travaux épidémiologiques, le rôle des épisodes aigus de pollution atmosphérique sur la mortalité a pu être

démonstré, en particulier celle liée à la pathologie respiratoire. Ce fut le cas lors d'un épisode survenu à Londres, en 1952, qui fut à l'origine d'une surmortalité estimée à 4000 cas (24). Comme le souligne FLOREY (11), à cette époque l'importance de la relation observée entre la pollution et la santé ne laissait aucun doute quant à la nature causale de la relation et, en 1956, le gouvernement anglais légiféra sur le contrôle de la pollution atmosphérique (UK Clean Air Act).

D'autres épisodes majeurs, comme ceux de la vallée de la Meuse en 1930, de Donora en Pennsylvanie en 1948, de New-York en 1953 et 1963 ont également montré le rôle de la pollution atmosphérique sur la mortalité des patients

(*) INSERM U 88.

(**) Observatoire Régional de la Santé d'Ile-de-France.

(***) Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Paris V.

(****) Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris.

(*****) Ecole Nationale de Santé Publique.

souffrant préalablement d'une pathologie respiratoire aiguë ou chronique (17). A la suite des mesures réglementaires mises en place au plan international, les niveaux de pollution atmosphérique ont fortement diminué et, depuis les années 70, il n'est survenu en dehors des accidents industriels, aucun autre épisode comparable de pollution atmosphérique.

Jusqu'à cette époque, l'état de santé de la population était essentiellement étudié par des indicateurs de mortalité. Cela s'explique pour des raisons pratiques, parce que la mort est un phénomène qui ne prête pas à ambiguïté dans sa constatation, et pour des raisons pragmatiques, puisque le problème sanitaire lié à la pollution qui se posait à la communauté était avant tout celui de la surmortalité. Avec l'évolution générale du concept de santé, tel qu'il est défini par l'Organisation Mondiale de la Santé, des indicateurs de morbidité ont été développés par les épidémiologistes. Ils permettent également d'étudier les effets de la pollution sur la santé pour des niveaux de polluants atmosphériques plus faibles que par le passé. Plus récemment, des indicateurs de morbidité dite « étendue », comme les indicateurs d'activité du système de soins, ont été utilisés dans ces études. Dans cette approche, il s'agit moins de s'intéresser à la notion de présence/absence d'une pathologie qu'à son retentissement sur la vie quotidienne, ce qui renvoie au concept d'incapacité, ou à son impact sur la consommation de soins ou, plus généralement, l'activité sanitaire (12). On attend de ces indicateurs une sensibilité accrue en ce qui concerne la mesure des effets de la pollution sur la santé. De plus, ils ouvrent la possibilité d'inclure le retentissement économique ou l'impact sur la qualité de la vie, dans l'estimation de ces effets.

Notre objectif est de présenter ici, les résultats d'une synthèse bibliographique, concernant les effets de la pollution atmosphérique sur des indicateurs d'activité sanitaire. Après avoir précisé le champ de notre étude, nous en présentons les principaux résultats et nous discutons les implications de l'utilisation de ce type d'enquête dans une démarche évaluative de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé publique.

Champ de l'étude

Nous avons analysé les enquêtes épidémiologiques s'intéressant aux effets à court et moyen termes de la pollution atmosphérique sur l'activité sanitaire, publiées entre septembre 1979 et mars 1991. Les effets à court terme ont été définis par la survenue de manifestations cliniques affectant

un appareil (respiratoire, cardiovasculaire, oculaire...) qui réagit de façon aiguë à une exposition, c'est-à-dire avec un temps de latence court. Les effets à moyen terme regroupent les symptômes ou pathologies respiratoires définis comme tels par la séméiologie médicale : toux et expectoration persistantes, bronchite chronique, par exemple.

Matériel

La sélection des articles a été réalisée à partir de banques de données bibliographiques informatisées et de la revue des références de chaque document examiné. Deux bases de données ont été consultées : MEDLINE, publié par la National Library of Medicine, Bethesda, MA, USA et PASCALINE, publié par le Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.

Les références sur MEDLINE ont été sélectionnées à partir de trois mots clés : « air pollution » (15447 références), « human » (9 226 références) qui, croisés, se réduisent à 3563 références puis à 648 après un tri sur le mot clé « adverse effects ». La recherche des articles sur PASCALINE a reposé sur les trois mots clés : « air/santé/homme » (28 références). Finalement, les publications qui ont fait l'objet d'une analyse sont celles pour lesquelles une enquête épidémiologique ayant recours à des indicateurs d'activité sanitaire a été effectivement réalisée, soit au total 24 références.

Les articles sélectionnés ont été analysés selon une grille de lecture comportant six rubriques : objectifs, type d'enquête, population(s) étudiée(s), mesures de l'exposition, effets sur la santé, méthodes statistiques.

Les indicateurs d'activité sanitaire

La majorité des études s'intéressant à l'activité sanitaire repose sur des données de type agrégé, c'est-à-dire recueillies globalement à partir de registres d'activité de services ou de registres administratifs (tableau 1). Dans quelques études (2, 7, 18, 20, 26, 33, 35, 42, 43), les données recueillies le sont à partir des dossiers médicaux permettant le recueil d'informations de nature individuelle comme le sexe, l'âge, les antécédents pathologiques... Ce niveau d'information permet ainsi de stratifier l'analyse par sous-groupes.

Les données concernant les prestataires de soins sont principalement d'origine hospitalière et portent sur l'activité de services d'urgence (6, 14, 15, 18, 22, 23, 27, 32, 35, 41, 42, 43), sur les admissions dans des services de médecine, le plus souvent spécialisés en pathologie respiratoire (13, 40), cardiovasculaire, pédiatrique (33)

ou psychiatrique (7, 39). Les autres données proviennent, soit de médecins généralistes éventuellement organisés en réseaux sentinelles (2, 20, 43), soit de services de santé (25, 31) (tableau I). D'autres organismes sont également concernés par ces études comme, par exemple, des services ambulanciers (43) ou les services de police (34). Enfin, les écoles, les crèches et les entreprises (31) peuvent être la source de données pour étudier l'absentéisme lié à la pollution atmosphérique.

Dans ces enquêtes, le plus souvent, il n'existe pas de sources de données facilement accessibles et produisant en routine, sur une base journalière ou hebdomadaire, des informations concernant l'activité sanitaire. Les données sont recueillies uniquement pour la durée de l'enquête, dans le cadre d'études transversales ou longitudinales.

Les indicateurs d'activité sanitaire s'expriment en unités d'événements : nombre de consultations, nombre d'admissions, nombre de visites etc... (tableau 1). Peu d'auteurs étudient le volume global d'activité d'un service « toutes pathologies confondues » et, le plus souvent, ils s'intéressent à la nature de l'activité des services. Ainsi, la majorité des études concernent la pathologie respiratoire. Certains auteurs étudient les affections respiratoires dans leur ensemble (4, 16, 18, 27, 32, 35, 41, 43), d'autres des regroupements pathologiques comme les affections des voies respiratoires supérieures ou inférieures, ou des affections plus spécifiques comme l'asthme, la bronchite aiguë (2, 5, 16, 20, 33, 42). S'agissant des affections non respiratoires, ce sont les affections cardiaques (22, 25, 27, 41, 43) et psychiatriques (7, 34, 39) qui sont le plus souvent étudiées et, dans notre revue, une seule enquête s'est intéressée aux affections oculaires (3) pour lesquelles un lien avec la pollution atmosphérique avait déjà été évoqué (21).

Les classifications utilisées par les auteurs pour définir des indicateurs d'activité sanitaire, sont la Classification Internationale des Maladies (CIM 9) et, quand il s'agit de données non hospitalières, la Classification Internationale des Soins de Santé Primaires (ICPC) qui prend en compte à la fois le diagnostic médical et le motif de recours au système de soins. La nature de l'activité étudiée et les regroupements par classes pathologiques sont très hétérogènes. Certains auteurs enregistrent des diagnostics d'entrée (35, 40, 42), d'autres des diagnostics de sortie (23) et certains des symptômes (18).

Les indicateurs de la pollution atmosphérique

Toutes les enquêtes sont des études de type environnemental : la mesure de l'exposition à la pollution n'est pas individuelle mais se fait

indirectement à partir des concentrations mesurées par des réseaux de capteurs. Dans la majorité des cas, c'est la pollution urbaine, dite de fond, qui est étudiée, ce qui exclut, le plus souvent, les pollutions oxycarbonées et par hydrocarbures. En effet, le souci des épidémiologistes est de prendre en compte les polluants ou des indicateurs de pollution susceptibles d'avoir un effet nocif sur la santé humaine et mesurés sur des sites les plus représentatifs possibles de l'exposition humaine. C'est pourquoi CO, mesuré surtout aux abords immédiats du trafic automobile, ne constitue pas un polluant majeur pour ce type d'investigation au regard de la population générale.

Pour étudier la pollution particulaire, les auteurs mesurent soit les particules totales en suspension (PTS) (14, 18, 33, 35), soit l'indice des fumées noires (FN) qui privilégie l'étude des particules fines issues de processus de combustion, de diamètre inférieur à 5 micromètres (2, 26, 40, 41, 42), soit les particules fines de diamètre inférieur à 10 micromètres, PM 10 (32), ou à 3,5 micromètres (18), soit les sulfates particulaires (SO₄) (5, 6, 14, 26, 33). Le « coefficient de brume » (COH) est utilisé par certains auteurs comme indicateur indirect de la pollution particulaire (4, 5, 6, 14, 27, 33).

En ce qui concerne la pollution soufrée, les auteurs mesurent soit l'acidité forte gazeuse (AF) (2, 3, 26), soit, spécifiquement, pour la plupart des études, le dioxyde de soufre (SO₂).

Pour la pollution oxydante, la majorité d'entre eux mesure essentiellement les oxydes d'azote (NO_x, NO₂, NO) et l'ozone (O₃).

Concernant l'échantillonnage, peu nombreux sont les auteurs qui donnent des renseignements sur les techniques de prélèvement. Quant à la mesure, les auteurs en énoncent souvent le principe sans cependant fournir de détails.

Pour les polluants particuliers, peu d'auteurs précisent les filtres utilisés (6, 14, 40), le volume ou le débit de l'air. Or ce sont des informations importantes puisque les dispositifs employés et leurs conditions d'utilisation (débit, durée) influencent fortement le rendement granulométrique d'une collecte de particules (30). En particulier, certains filtres (fibre de verre) provoqueraient la formation artéfactuelle de particules à partir du SO₂ atmosphérique.

S'agissant des polluants gazeux, on sait que la détermination des teneurs de SO₂ réalisée par la mesure globale de l'acidité forte gazeuse n'est pas spécifique car elle compte en plus tout polluant acide « fort » présent dans l'air avec SO₂ et en moins tout polluant alcalin « fort » (NH₃). C'est pourquoi, des méthodes plus spécifiques sont utilisées. Ainsi, MAZUMDAR (27) utilise une méthode colorimétrique et plusieurs auteurs ont recours à la fluorescence moléculaire (26, 40). La mesure de NO et NO_x, quand elle est

Tableau 1. – Indicateurs d'activité sanitaire utilisés dans les enquêtes épidémiologiques (*)
Health services indicators in ecological studies

Auteurs année de publication pays de l'étude	unités d'observation	sources de données	indicateurs	bruts	par âge	nature	type d'étude
AYRES (2) 1989 Royaume-Uni	jour région	réseau médecins généralistes de 33 médecins population de référence = 187 800 patients diagnostics	consultations pathologie respiratoire consultations bronchite aiguë consultations asthme	+	+	i i i	P
BALLERAT (3) 1991 France	jour ville jour semaine	urgences et admissions hospitalières adultes et enfants, diagnostics (CIM 9) 354 crèches 5 écoles entreprises publiques	admissions pathologie respiratoire admissions affections ORL admissions en ophtalmologie absentéisme < 1 mois absentéisme absentéisme	+		a a a a a a	R
BATES (4) 1983 Canada	jour région	urgences hospitalières dans 79 services diagnostics (CIM 9)	admissions pathologie respiratoire admissions asthme admissions non respiratoire admissions toutes causes		+	a a a a	T
BATES (5) 1987 Canada	jour région	urgences hospitalières population de référence = 5 900 000 diagnostics (CIM 9)	consultations pathologie respiratoire consultations asthme consultations toutes causes		+	a a a	T
BATES (6) 1990 Canada	jour région	urgences hospitalières (2 400/j) dans 9 hôpitaux population de référence = 983 900 diagnostics de sortie (CIM 9)	consultations asthme consultations pathologie respiratoire consultations patho non respiratoire consultations toutes causes		+	a a a a	T
BRIÈRE (7) 1983 États-Unis	jour ville	urgences psychiatriques (45/j) diagnostics d'entrée (DSM II)	admissions pathologie psychiatrique admissions dépression	+		i i	T
GILLI (13) 1988 Italie	semaine région	admissions hospitalières respiratoires	admissions pathologie respiratoire chronique	+		a	T
GOLDSMITH (14) 1983 États-Unis	jour région	urgences hospitalières (515/j) dans 9 hôpitaux	admissions toutes causes	+		a	T
GOLDSTEIN (16) 1986 États-Unis	jour ville	urgences hospitalières (500/j) dans 3 hôpitaux population socialement défavorisée	consultations asthme (5 %) consultations pathologie respiratoire (15 %)	+		a a	T
GROSS (18) 1984 Israël	jour ville	urgences hospitalières (250/j) dans 1 hôpital nombre de sujets 72 335 adultes et 19 232 enfants	admissions pathologie respiratoire		+	i	T
KARADAUN (20) 1989 Pays-Bas	semaine ville	réseau médecins généralistes de 30 médecins population de référence = 75 000 patients	consultations bronchite aiguë consultations pathologie respiratoire chronique		+	i i	P
LUTZ (25) 1983 États-Unis	semaine ville	centre de santé diagnostics (ICPC)	consultations pathologie respiratoire aiguë (15 à 35 %) consultations pathologie cardiaque	+		a	P T
MARZIN (26) 1991 France	jour ville	organisme d'urgence de visites à domicile visites pour asthme (565 ± 113) diagnostics		+		i	P

Auteurs année de publication pays de l'étude	unités d'observation	sources de données	indicateurs	bruts	par âge	nature	type d'étude
MAZUMDAR (27) 1983 États-Unis	jour région	services et urgences hospitalières (350/j)	admissions pathologie respiratoire admissions pathologie cardiaque autre admissions (63 %) admissions toutes causes		+ + + +	a a a a	T
PONKA (31) 1990 Finlande	semaine mois semaine semaine	25 centres de santé (n = 46 826) 14 crèches (n = 1 532) 210 écoles (n = 55 506) 12 entreprises (n = 28 421)	pathologie voies respiratoires inférieures, absentéisme pathologie respiratoire, absentéisme absentéisme absentéisme	+ + + +		a a a a	P
POPE (32) 1989 États-Unis	mois région	admissions hospitalières dans 3 hôpitaux de 33 médecins	admissions pathologie respiratoire admissions toutes causes consultations asthme	+ +		a a	P
RICHARDS (33) 1981 États-Unis	jour ville	urgences pédiatriques (125/j) n = 22 159	consultations asthme (10 %) consultations traumatologie (25 %) consultations toutes causes		+ + +	i i i	P
ROTTON (34) 1984 États-Unis	jour ville	appels Police Secours (2/j) n = 1 535	appels pour urgences psychiatriques (autres que toxicomanie)	+		a	T
SAMET (35) 1981 États-Unis	jour ville	urgences hospitalières (95/j) diagnostics	consultations pathologie respiratoire consultations non traumatologie consultations toutes causes		+ + +	i i i	T
STRAHILEVITZ (39) 1979 États-Unis	jour ville	urgences et admissions psychiatriques	consultations toutes causes admissions psychotiques et autres	+ +		a a	T
SUNYER (40) 1991 Espagne	jour ville	urgences respiratoires dans 4 hôpitaux (44/j) registres des admissions	admissions pathologie respiratoire chronique obstructive (12 %)	+		i	P
SWEENAY (41) 1982 Irlande	semaine ville	admissions hospitalières n = 16 000	admissions pathologie respiratoire admissions pathologie cardiaque admissions toutes causes	+ + +		a	T
VILLALBI (42) 1984 Espagne	jour ville	urgences hospitalières dans 1 hôpital diagnostics	consultations pathologie respiratoire consultations asthme		+ +	i i	T
WICHMANN (43) 198 Allemagne	jour région	admissions hospitalières dans 186 hôpitaux (n = 13 000) urgences hospitalières dans 109 hôpitaux (5 400/j) consultations médecine générale chez 615 médecins (14 000/j) transports ambulance (35/j) dans 7 villes	admissions consultations pathologie respiratoire consultations pathologie cardiaque consultations pathologie respiratoire consultations pathologie cardiaque transports toutes causes transports pathologie respiratoire et cardiaque	+ + + +	+ + + +	i a a a i i	T

* Liste des abréviations :

- R : rétrospective
- P : prospective
- T : transversale
- n : nombre de sujets
- i : données individuelles
- a : données agrégées
- CIM 9 : Classification Internationale des Maladies 9^e révision
- DSMII : Classification Américaine des affections psychiatriques
- ICPC : Classification Internationale des soins de santé primaires

précisée, repose sur la chimiluminescence (26, 31, 40). Pour O₃, les mesures utilisées sont soit la chimiluminescence (40), soit l'absorption UV (26).

Les concentrations des polluants sont exprimées pour 24 heures, dans la majorité des études, sous forme de moyennes et, plus rarement, sous forme de valeurs maximales horaires (4, 6, 14, 39).

Au total, dans toutes les études épidémiologiques considérées, ces chapitres présentent de nombreuses lacunes, sans doute parce qu'ils sont rédigés par des épidémiologistes non spécialisés en métrologie des polluants. Ceci ne signifie pas que les données de pollution qu'ils utilisent soient incorrectes. Néanmoins, les résultats concernant la mesure de niveaux de pollution atmosphérique sont difficilement comparables d'une étude à l'autre.

Méthodes d'analyse statistique

L'étude de la relation entre la pollution atmosphérique et la santé est complexe. En effet, certains phénomènes, comme les conditions météorologiques, agissent aussi bien sur la pollution que sur la santé. Les polluants, une fois émis, interagissent entre eux. Par ailleurs, les effets mesurés concernant la santé peuvent être dus à des facteurs autres que la pollution atmosphérique (conditions de vie, viroses, pollens, acariens, conditions météorologiques, facteurs génétiques ou familiaux...). Pour toutes ces raisons, les études utilisant des méthodes d'analyse dites multivariées, prenant en compte plusieurs facteurs simultanément, aboutissent à des résultats a priori plus fiables que les études simples bivariées n'étudiant le lien qu'entre un polluant et un effet sur la santé. Pour cette raison, nous présenterons séparément, pour chaque type d'activité sanitaire étudié, les résultats de ces deux approches. Cependant, il importe également de souligner que la « confiance » que l'on peut accorder aux résultats dépend aussi de la qualité des données recueillies, des modalités de leur collecte (enquêtes longitudinales ou transversales) et de la rigueur du protocole lors de la planification de l'étude.

D'une manière générale, sauf mention contraire, lorsque les résultats sont rapportés comme étant significatifs, le seuil de signification est de 5 %. La mesure du degré d'association, lorsqu'elle est précisée, s'effectue par le coefficient de corrélation de Pearson (r). Celui-ci quantifie le degré de dépendance linéaire entre une variable environnementale et une variable sanitaire.

Résultats

Parmi les 24 études, 13 ont été réalisées en Amérique du Nord, 10 en Europe, dont 2 en France, et une en Israël. Une seule étude est rétrospective, 6 sont prospectives, 16 sont transversales et une étude associée à la fois une approche prospective et transversale (tableau 1).

La majorité des enquêtes ($n = 18$) ont été menées en milieu hospitalier et six l'ont été en médecine de ville. Deux enquêtes se sont déroulées simultanément dans des crèches ou des écoles, et une s'est intéressée à l'activité des services ambulanciers lors de la survenue d'un épisode de pollution atmosphérique. Enfin, une enquête a été réalisée pour étudier le rôle de la pollution atmosphérique sur l'activité des services de police secours (tableau 1).

L'activité hospitalière

L'activité globale hospitalière

Elle n'est jamais étudiée en tant que telle mais certains s'intéressent au lien existant entre la pollution et l'activité globale des services d'urgences.

** les études multivariées*

Dans une étude réalisée à Los Angeles entre 1974 et 1975, GOLDSMITH (14) trouve une relation positive significative ($r = 0,224$) entre l'incidence des admissions « toutes causes » aux urgences hospitalières et les niveaux de sulfates particulaires (10,5 à 14,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$). Mais c'est la température maximale qui explique la majeure partie de la variation de l'activité de ces services.

RICHARDS (33) étudiant, pendant une durée de 6 mois à Los Angeles, la liaison entre le nombre de consultations aux urgences hospitalières et la pollution, la météorologie et l'exposition aux pollens, ne retrouve pas de corrélation significative.

SWEENEY (41) étudie pendant trois hivers consécutifs, de 1975 à 1978, les admissions hospitalières hebdomadaires dans la ville de Dublin et trouve, dans un modèle de régression multiple qui prend en compte la pollution soufrée (SO₂) et particulaire (FN), une association positive entre les admissions « toutes causes » et la température mais pas avec la pollution atmosphérique.

** les études bivariées*

BATES (4) observe, qu'en hiver, les admissions « toutes causes » sont significativement et positivement liées aux niveaux de SO₂ ($r = 0,23$)

mais négativement aux niveaux de O_3 ($r = -0,23$) et de NO_2 ($r = -0,25$). Quelle que soit la saison (été, hiver), il existe également une relation positive entre les admissions dans les services hospitaliers d'urgence et les niveaux de température.

Au total, qu'il s'agisse du nombre d'admissions ou du nombre de consultations, l'activité globale des services hospitaliers semble essentiellement liée à la température. Si des corrélations positives sont retrouvées avec la pollution acido-particulaire, de même qu'avec la pollution oxydante (O_3) chez les sujets de plus de 60 ans, le rôle de la pollution semble marginal sur l'activité globale des services d'urgence.

L'activité hospitalière liée à la pathologie respiratoire (non asthmatique)

** les études multivariées*

BALLERAT (3), dans une enquête transversale réalisée au cours de l'hiver 1989-1990, étudie le lien entre la pollution atmosphérique de fond à Lyon et les admissions hospitalières dans les services d'urgence ou dans des services spécialisés (pédiatrie, pneumologie, ORL, ophtalmologie). L'analyse des données repose sur une approche de type temporel. Cette analyse permet ainsi d'obtenir des séries « filtrées », c'est-à-dire des séries pour lesquelles les variations observées sont indépendantes du facteur temps (effet tendance, effet saison, effet jour de la semaine ...). Une régression linéaire multiple permet alors d'étudier la part respective des variations d'activité des services attribuable à chaque polluant. L'auteur observe une corrélation significativement positive entre les hospitalisations en pneumologie pour maladies respiratoires aiguës et les niveaux moyens journaliers de SO_2 ($SO_2 = 50$ à $100 \mu g/m^3/j$) alors qu'il n'est pas trouvé de relation avec NO_2 . Cependant le modèle de régression testé n'explique qu'une faible part de la variabilité de ces hospitalisations ($R^2 = 7,7\%$).

BATES (5) s'intéresse aux admissions hospitalières de 79 services hospitaliers d'urgence de la région de l'Ontario, au cours de la période 1974-1983. Il observe une relation significative entre les admissions pour pathologie respiratoire et SO_4 , uniquement en été; SO_4 et la température expliquent ainsi environ 5 % de la variabilité de l'activité de ces services, mais au cours de la période d'étude, il a été enregistré des pics inhabituels de pollution acide (H^+) dont le rôle n'a pas été étudié. En hiver, seule la température modifie l'activité de ces services. Ces relations ne sont pas observées avec des groupes de pathologie témoins (infections des voies rénales, ulcères gastriques, etc...).

MAZUMDAR (27) ne retrouve pas d'association entre les admissions hospitalières pour pathologie respiratoire et les niveaux de pollution particulaire et la pollution acide (niveaux de SO_2 compris entre 72,5 et $136,5 \mu g/m^3/j$).

POPE (32) étudie d'avril 1985 à février 1988 les admissions hospitalières mensuelles dans la région de l'Utah Valley où la population, majoritairement Mormon, n'est pas ou peu « exposée » au tabagisme actif. Au cours de la période d'étude, la population est exposée à une pollution de type particulaire d'origine industrielle, de manière intermittente, liée à la fermeture puis à la réouverture d'une aciérie. L'auteur rapporte une forte corrélation entre les admissions pour pathologie respiratoire, en particulier pour les bronchites et les crises d'asthme, et la pollution particulaire fine (PM 10). Dans un modèle de régression, 59 % de la variabilité de l'activité liée à la pathologie respiratoire est liée à cette pollution. Lorsque la température est introduite dans ce modèle, 83 % de la variabilité est expliquée. La corrélation observée est plus forte chez les enfants que chez les adultes et s'observe, en particulier, pour des niveaux de PM 10 inférieurs à $150 \mu g/m^3/j$. Par ailleurs, l'existence d'un délai entre l'exposition et l'augmentation des admissions suggère à l'auteur un effet de la pollution particulaire sur la santé de type cumulatif.

SAMET (35), étudiant l'activité hospitalière des services d'urgence (consultations ou admissions) liée à la pathologie respiratoire, trouve une liaison positive avec les niveaux de pollution particulaire ($PTS = 156 \mu g/m^3/j$) et acide ($SO_2 = 90 \mu g/m^3/j$) du même jour. Dans cette analyse, l'effet de la température est pris en compte par une stratification à deux niveaux de température et l'auteur propose une méthode d'ajustement pour prendre en compte les variations temporelles (effets tendance, saison et semaine). Pour un jour donné, la valeur attendue, c'est-à-dire le niveau d'activité du service d'urgence, est la moyenne des mêmes jours de la semaine, de la même saison et de la même année. Au total, la pollution acido-particulaire explique, pour les adultes, 1,1 % de la variance du modèle, c'est-à-dire la variation d'activité des services d'urgence, indépendamment des conditions météorologiques (température). Comparant ces résultats à ceux rapportés par KURT (22) ainsi que par LEVY (23), il conclut que les consultations dans les services d'urgence constituent un indicateur plus sensible que les admissions hospitalières pour évaluer l'impact de la pollution atmosphérique.

SUNYER (40) recueille à Barcelone, entre 1985 et 1986, à partir des données des registres d'urgence, les admissions hospitalières pour pathologie respiratoire chronique obstructive (BPCO) chez les sujets âgés de plus de 14 ans.

L'analyse des données repose sur un modèle de régression multiple dans lequel les variables explicatives sont introduites « pas à pas » dans l'ordre suivant : météorologie, saison, jour de la semaine, polluants. Quelle que soit la saison, il existe une relation linéaire positive entre les admissions pour BPCO et SO₂ : une augmentation journalière de 100 µg/m³/j de SO₂ se traduit, en termes d'activité sanitaire, par un doublement des admissions hospitalières. De plus, ordonnant l'exposition selon les niveaux de SO₂ afin de mettre en évidence un effet seuil, l'auteur observe des effets sur la pathologie respiratoire chronique à un niveau inférieur aux recommandations de l'OMS (100 µg/m³/j).

SWEENEY (41) trouve une association significativement positive entre les admissions hospitalières pour pathologie respiratoire et SO₂ (niveaux compris entre 40 et 45 µg/m³/j) ainsi qu'avec les fumées noires, après prise en compte de la température et du vent.

Enfin, WICHMANN (43) étudie un épisode aigu de pollution atmosphérique, d'une durée de 5 jours, survenu dans la Rhur en 1985 (niveaux de PTS variant entre 600 et 850 µg/m³/j, de SO₂ entre 830 et 2170 µg/m³/j). Il compare rétrospectivement l'activité sanitaire avant et après l'épisode et dans deux zones, dont une témoin. Les indicateurs de santé sont la mortalité, la morbidité hospitalière, les consultations de médecins généralistes, les transports en ambulance. Pendant l'épisode de pollution, l'auteur observe une augmentation des consultations d'urgence hospitalières, en particulier celles concernant la pathologie respiratoire, mais cette augmentation reste faible, de l'ordre de 7 %. Dans un modèle de régression linéaire ajusté sur le jour de la semaine, la pollution particulière fine explique à elle seule 9 % de la variabilité des consultations d'urgence du même jour et 28 % avec un délai de 2 jours.

** les études bivariées*

BATES (4) s'intéresse, dans la région d'Hamilton au Canada, entre 1974 et 1978, à la relation entre les admissions dans 79 services hospitaliers d'urgence et la pollution atmosphérique. Cette relation est estimée par le coefficient de corrélation de Pearson et, pour contrôler le risque d'erreur de première espèce (c'est-à-dire le risque de conclure à l'existence d'une relation qui n'existe pas) lié au grand nombre de tests réalisés dans cette étude, l'auteur choisit un risque de 0,001. Au cours de l'été, il existe une relation positive entre les admissions hospitalières pour pathologie respiratoire et la température du même jour ($r = 0,25$), ainsi qu'avec les niveaux de SO₂ du même jour ($r = 0,26$) et de la veille ($r = 0,29$) et les niveaux de O₃ de la veille ($r = 0,25$) et de l'avant veille ($r = 0,28$).

BATES (6) réalise également une étude concernant la période 1984-1986, pour valider l'utilisation de données de morbidité d'origine hospitalière dans l'étude de l'influence de la pollution atmosphérique sur la pathologie respiratoire. En été, les consultations d'urgence pour pathologie respiratoire présentent une liaison positive avec les niveaux de SO₂ du jour même et de la veille, pour les sujets âgés de 15 à 60 ans. En hiver, il existe une relation entre les consultations pour pathologie respiratoire et les niveaux de SO₂ du jour même, de la veille et de l'avant veille, quel que soit l'âge.

A Turin, GILLI (13) étudie, entre 1976 et 1981, les admissions hospitalières pour bronchite chronique et les niveaux de PTS, SO₂, NO_x et de température. L'objectif est d'évaluer la validité des normes réglementaires locales. En hiver, une corrélation positive est observée entre les admissions hospitalières pour bronchite chronique et un indicateur global de pollution associant SO_x, TSP, NO_x et la température ($r = 0,664$). De plus, l'auteur note qu'une exposition prolongée à de faibles niveaux de pollution atmosphérique (2 semaines) a le même impact sur les admissions pour bronchite chronique qu'une exposition de quelques jours à des niveaux élevés.

GROSS (18), en Israël au cours de l'année 1980, étudie l'activité du service d'urgence de Soroka. L'auteur cherche à mettre en évidence une relation entre les jours de forte pollution et les jours à forte activité sanitaire, par l'étude de leur concordance. L'analyse réalisée sous l'hypothèse que les admissions dans un service d'urgence un jour donné suivent une distribution de Poisson (large population à risque et faible probabilité individuelle de consulter aux urgences un jour donné), montre que la pathologie respiratoire chez l'adulte est plus fréquente les jours où les niveaux de TSP et PM 3,5 sont élevés.

VILLALBI (42) étudie, à Barcelone, un épisode aigu de pollution de type particulière (maximum = 328 µg/m³/j), survenu entre le 17/12/1982 et le 10/02/1983. Il analyse, pour cela, les registres des consultations des services d'urgence et constate une augmentation des urgences pour pathologie respiratoire durant les 14 jours où le niveau de FN est supérieur ou égal à 150 µg/m³/j. Au cours de ces journées, le nombre de consultations pour crises d'asthme et bronchospasme est multiplié par 2 environ (risque relatif = 1,93, $p < 0,05$).

Ainsi, la plupart des auteurs retrouvent une association entre l'activité hospitalière liée à la pathologie respiratoire et la pollution acido-particulaire pour des niveaux moyens journaliers de SO₂ inférieurs à 100 µg/m³/j et des niveaux de particules autour de 100 à 150 µg/m³/j. La pollution semble agir à la fois sur les formes

L'analyse des données repose sur un modèle de régression multiple dans lequel les variables explicatives sont introduites « pas à pas » dans l'ordre suivant : météorologie, saison, jour de la semaine, polluants. Quelle que soit la saison, il existe une relation linéaire positive entre les admissions pour BPCO et SO₂ : une augmentation journalière de 100 µg/m³/j de SO₂ se traduit, en termes d'activité sanitaire, par un doublement des admissions hospitalières. De plus, ordonnant l'exposition selon les niveaux de SO₂ afin de mettre en évidence un effet seuil, l'auteur observe des effets sur la pathologie respiratoire chronique à un niveau inférieur aux recommandations de l'OMS (100 µg/m³/j).

SWEENEY (41) trouve une association significativement positive entre les admissions hospitalières pour pathologie respiratoire et SO₂ (niveaux compris entre 40 et 45 µg/m³/j) ainsi qu'avec les fumées noires, après prise en compte de la température et du vent.

Enfin, WICHMANN (43) étudie un épisode aigu de pollution atmosphérique, d'une durée de 5 jours, survenu dans la Rhur en 1985 (niveaux de PTS variant entre 600 et 850 µg/m³/j, de SO₂ entre 830 et 2170 µg/m³/j). Il compare rétrospectivement l'activité sanitaire avant et après l'épisode et dans deux zones, dont une témoin. Les indicateurs de santé sont la mortalité, la morbidité hospitalière, les consultations de médecins généralistes, les transports en ambulance. Pendant l'épisode de pollution, l'auteur observe une augmentation des consultations d'urgence hospitalières, en particulier celles concernant la pathologie respiratoire, mais cette augmentation reste faible, de l'ordre de 7 %. Dans un modèle de régression linéaire ajusté sur le jour de la semaine, la pollution particulière fine explique à elle seule 9 % de la variabilité des consultations d'urgence du même jour et 28 % avec un délai de 2 jours.

** les études bivariées*

BATES (4) s'intéresse, dans la région d'Hamilton au Canada, entre 1974 et 1978, à la relation entre les admissions dans 79 services hospitaliers d'urgence et la pollution atmosphérique. Cette relation est estimée par le coefficient de corrélation de Pearson et, pour contrôler le risque d'erreur de première espèce (c'est-à-dire le risque de conclure à l'existence d'une relation qui n'existe pas) lié au grand nombre de tests réalisés dans cette étude, l'auteur choisit un risque de 0,001. Au cours de l'été, il existe une relation positive entre les admissions hospitalières pour pathologie respiratoire et la température du même jour ($r = 0,25$), ainsi qu'avec les niveaux de SO₂ du même jour ($r = 0,26$) et de la veille ($r = 0,29$) et les niveaux de O₃ de la veille ($r = 0,25$) et de l'avant veille ($r = 0,28$).

BATES (6) réalise également une étude concernant la période 1984-1986, pour valider l'utilisation de données de morbidité d'origine hospitalière dans l'étude de l'influence de la pollution atmosphérique sur la pathologie respiratoire. En été, les consultations d'urgence pour pathologie respiratoire présentent une liaison positive avec les niveaux de SO₂ du jour même et de la veille, pour les sujets âgés de 15 à 60 ans. En hiver, il existe une relation entre les consultations pour pathologie respiratoire et les niveaux de SO₂ du jour même, de la veille et de l'avant veille, quel que soit l'âge.

A Turin, GILLI (13) étudie, entre 1976 et 1981, les admissions hospitalières pour bronchite chronique et les niveaux de PTS, SO₂, NO_x et de température. L'objectif est d'évaluer la validité des normes réglementaires locales. En hiver, une corrélation positive est observée entre les admissions hospitalières pour bronchite chronique et un indicateur global de pollution associant SO_x, TSP, NO_x et la température ($r = 0,664$). De plus, l'auteur note qu'une exposition prolongée à de faibles niveaux de pollution atmosphérique (2 semaines) a le même impact sur les admissions pour bronchite chronique qu'une exposition de quelques jours à des niveaux élevés.

GROSS (18), en Israël au cours de l'année 1980, étudie l'activité du service d'urgence de Soroka. L'auteur cherche à mettre en évidence une relation entre les jours de forte pollution et les jours à forte activité sanitaire, par l'étude de leur concordance. L'analyse réalisée sous l'hypothèse que les admissions dans un service d'urgence un jour donné suivent une distribution de Poisson (large population à risque et faible probabilité individuelle de consulter aux urgences un jour donné), montre que la pathologie respiratoire chez l'adulte est plus fréquente les jours où les niveaux de TSP et PM 3,5 sont élevés.

VILLALBI (42) étudie, à Barcelone, un épisode aigu de pollution de type particulière (maximum = 328 µg/m³/j), survenu entre le 17/12/1982 et le 10/02/1983. Il analyse, pour cela, les registres des consultations des services d'urgence et constate une augmentation des urgences pour pathologie respiratoire durant les 14 jours où le niveau de FN est supérieur ou égal à 150 µg/m³/j. Au cours de ces journées, le nombre de consultations pour crises d'asthme et bronchospasme est multiplié par 2 environ (risque relatif = 1,93, $p < 0,05$).

Ainsi, la plupart des auteurs retrouvent une association entre l'activité hospitalière liée à la pathologie respiratoire et la pollution acido-particulaire pour des niveaux moyens journaliers de SO₂ inférieurs à 100 µg/m³/j et des niveaux de particules autour de 100 à 150 µg/m³/j. La pollution semble agir à la fois sur les formes

aiguës et chroniques de la pathologie respiratoire.

L'activité hospitalière liée à l'asthme

** Les études multivariées*

RICHARDS (33) trouve une relation significativement positive entre l'activité hospitalière des urgences pédiatriques (consultations et admissions) liée à l'asthme et les niveaux de NO, COH et HC. Lorsqu'une régression multiple est réalisée en utilisant comme variable explicative un indicateur global de pollution associant NO, NO₂, COH, HC et l'humidité relative pour décrire les conditions environnementales, le modèle explique plus de 30 % de la variabilité de l'activité hospitalière liée à l'asthme, avec un délai de 2 jours entre l'exposition et la survenue de la crise. La corrélation négative trouvée entre l'incidence des crises d'asthme et O₃ ainsi que SO₂, suggère l'existence d'une interaction avec d'autres facteurs comme l'auto-limitation de l'activité par les sujets asthmatiques lors des épisodes de pollution et leur adaptation à la pollution atmosphérique ou la température qui, corrélée négativement à O₃ et SO₂, provoque un effet physiologique opposé à celui de la pollution.

** Les études bivariées*

BATES (6) constate une relation positive entre les consultations dans les services d'urgence pour crise d'asthme et les niveaux de SO₂ et SO₄. En été, cette liaison est observée pour les sujets âgés de 15 à 60 ans, alors qu'en hiver une liaison est retrouvée uniquement pour les sujets âgés de plus de 60 ans. Cependant, l'analyse graphique de la variation temporelle des données de pollution et de santé révèle une augmentation de l'incidence des visites pour crise d'asthme qui précède l'augmentation des concentrations de polluants ! Aussi l'auteur discute-t-il le rôle des virus, des pollens et des acariens et, constatant une augmentation de l'incidence des crises d'asthme en septembre, émet l'hypothèse que la mise en route du chauffage domestique favorise la dissémination des poussières dans l'habitat. De plus, la variabilité des résultats selon l'âge des patients, suggère que les adultes seraient sensibles à la pollution (SO₂ et O₃) alors que les enfants seraient plus sensibles aux allergènes et aux infections. Dans l'étude réalisée en 1987 (5), BATES trouve une liaison entre les consultations dans les services d'urgence pour crise d'asthme et la température, uniquement en hiver.

GOLDSTEIN (16), étudie les crises d'asthme diagnostiquées dans les services d'urgence de 3 hôpitaux à New-York, entre janvier 1969 et février 1972. Il étudie le lien avec la pollution en

utilisant comme indicateurs de pollution les concentrations maximales des polluants, plusieurs études expérimentales ayant montré l'existence d'un délai court (10 minutes) entre une exposition à un polluant et la survenue d'une crise d'asthme. L'auteur fait l'hypothèse que l'activité des services d'urgence liée à l'asthme suit une distribution de Poisson et définit trois niveaux d'activité. Parallèlement, trois niveaux de pollution le sont également et l'auteur compare les données en stratifiant l'analyse par saison et par année : aucune relation n'est observée entre l'asthme et la pollution mais Goldstein souligne le manque de puissance de cette étude.

Globalement, les résultats concernant les consultations ou admissions pour asthme et bronchospasme indiquent un effet plus spécifique de la pollution particulaire.

L'activité hospitalière liée aux affections cardiaques

Les trois études présentées ici sont des études multivariées.

MAZUMDAR (27) étudie les relations à court terme entre la pollution et l'activité des urgences hospitalières à Pittsburgh. Afin d'isoler l'effet de confusion lié à la covariation temporelle des indicateurs de pollution et de santé dû, en particulier aux conditions météorologiques, les données sont « filtrées » par des « moyennes mobiles ». Cette méthode permet d'éliminer des composantes cycliques, en particulier celles supérieures à 15 jours, qui peuvent masquer ou, au contraire, faire apparaître une relation à court terme qui n'existe pas réellement. Un modèle de régression non linéaire est ensuite ajusté sur les données filtrées, mois par mois, ce qui permet de contrôler les facteurs météorologiques et saisonniers. L'auteur conclut à l'existence d'une relation positive entre la pollution particulaire (coefficients de COH compris entre 0,58 et 1,28) et les admissions du même jour pour la pathologie cardiaque.

SWEENEY (41) observe au cours de l'hiver 1975-1976, mais pas en 1977 ni en 1978, une relation significative positive ($r = 0,44$) entre les admissions hospitalières pour pathologie cardiovasculaire et les niveaux de SO₂, après prise en compte dans un modèle de régression linéaire multiple, des effets liés aux conditions météorologiques (température, vitesse du vent, humidité relative).

Quant à WICHMANN (43), il constate que les admissions hospitalières pour maladies cardiovasculaires sont plus élevées dans la zone exposée que dans la zone témoin (19 % vs 5 %). Cette augmentation concerne essentiellement les accidents vasculaires cérébraux, les troubles du rythme cardiaque et l'insuffisance coronarienne.

Il semble donc que l'activité hospitalière liée à la pathologie cardio-vasculaire soit associée aux pollutions acido-particulaire et oxycarbonée.

L'activité hospitalière liée aux affections psychiatriques

Seules deux études s'intéressent à la pathologie psychiatrique.

Dans celle réalisée au cours des étés 1977 et 1978, à Sacramento en Californie, BRIERE (7) observe une relation significative positive ($r = 0,19$) entre le nombre total de consultations en urgence pour pathologie psychiatrique et la pollution caractérisée par un indicateur global de pollution associant PS, NO, NO₂, NO_x et CO. Les consultations ayant pour motif un syndrome dépressif sont plutôt liées aux conditions météorologiques (pression atmosphérique), avec un délai d'une journée.

Dans une étude réalisée au cours de l'été et de l'automne 1972, STRAHILEVITZ (39) observe que le nombre journalier de consultations psychiatriques « toutes causes » est corrélé négativement ($r = -0,36$) aux niveaux de NO (max = 1300 µg/m³/j) et positivement ($r = 0,25$) aux niveaux de CO (max = 25,6 10³ µg/m³/j). Le nombre d'admissions pour pathologie psychiatrique, hormis celles pour lesquelles le diagnostic « pathologie psychotique » a été porté, est corrélé positivement ($r = 0,22$) avec NO₂ (max = 600 µg/m³/j). L'analyse des données prend en compte l'effet dû au jour de la semaine et aux vacances. Pour expliquer le rôle de NO₂, l'auteur avance l'hypothèse que les patients alcooliques ou présentant un syndrome cérébral organique pourraient constituer une population plus sensible à ce type de polluant, alors que l'effet négatif observé avec NO pourrait s'expliquer par un effet protecteur dû aux propriétés anesthésiques de ce gaz.

Les résultats de ces deux études sont donc en faveur d'un rôle de la pollution oxydante et oxycarbonée sur l'activité des services de psychiatrie.

L'activité hospitalière liée aux affections oculaires

BALLERAT (3) est le seul auteur à s'intéresser à cette pathologie. Les admissions pour pathologie inflammatoire ophtalmologique sont reliées aux niveaux de SO₂ et PS, avec un délai de 10 à 11 jours. Cette liaison est indépendante des conditions météorologiques (force du vent et pression atmosphérique).

Au total, la plupart des études réalisées à partir de sources de données hospitalières

montrent une relation entre la pollution atmosphérique et l'activité des services de soins hospitaliers. Bien qu'aucune inférence puisse être faite quant à la causalité existant entre l'exposition à la pollution atmosphérique et l'activité de ces services, les résultats montrent que l'utilisation de tels indicateurs pour l'évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé de la population est possible.

L'activité en médecine générale

** Les études multivariées*

KARDAUN (20) met en place une étude descriptive de type prospectif, à Amsterdam entre 1982 et 1983, afin de tester la faisabilité de la mise en place d'un réseau de surveillance de médecins généralistes pour mesurer l'importance des maladies respiratoires liées à la pollution, en particulier celles concernant les voies respiratoires inférieures. Au plan géographique, l'auteur trouve une association positive entre les niveaux moyens journaliers de SO₂ et le recours au médecin de famille pour une pathologie des voies respiratoires inférieures, en particulier chez les enfants. Au plan temporel, une association est également retrouvée avec SO₂ ($r = 0,28$) malgré des niveaux de pollution peu élevés à Amsterdam (25 µg/m³/j) ; mais la corrélation avec les variables météorologiques est plus importante, en particulier avec l'humidité. Dans un modèle de régression linéaire multiple, SO₂ explique 27 % de la variabilité de l'activité en médecine générale et un modèle incluant la variable humidité en explique 46 %. L'auteur conclut à l'utilité d'un tel réseau de surveillance dans les études épidémiologiques.

De novembre 1980 à janvier 1981, LUTZ (25) s'intéresse à Salt Lake City, aux effets adverses sur la santé de la pollution atmosphérique à partir du suivi de l'activité d'un centre de santé. Il observe une corrélation positive élevée entre le nombre de visites pour pathologie respiratoire et pathologie cardiaque et la pollution particulaire mesurée par les fumées noires ($r = 0,79$). Dans un modèle de régression linéaire, la pollution particulaire explique 62 % de la variabilité de l'activité du centre de santé.

En 1987, PÖNKA (31) étudie à Helsinki les effets de la pollution sur la santé en utilisant trois sources différentes d'indicateurs de morbidité : des crèches, des écoles et des centres de médecine du travail. Après prise en compte de la température, l'auteur observe une association significativement positive ($r = 0,55$) entre le nombre d'infections des voies respiratoires supérieures diagnostiquées dans les centres de santé et les niveaux de SO₂ ($p = 0,0001$). Au cours d'un épisode de pollution de 2 semaines, où les niveaux de SO₂ ont dépassé pendant

6 jours le seuil de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$, la fréquence de ces infections a augmenté de 15 %.

WICHMANN (43) ne retrouve pas d'association entre le pic de pollution de type particulaire et les consultations de médecins généralistes et conclut que l'activité de ces derniers est plutôt liée à la température ; les consultations ont diminué lors du mauvais temps.

* Les études bivariées

AYRES (2) étudiant, lors de la survenue d'un épisode aigu de pollution, l'activité d'un réseau de surveillance de médecins généralistes en Angleterre, ne retrouve pas de corrélation entre la pollution acido-particulaire mesurée par SO_2 ($104 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$) et FN ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$) et la pathologie respiratoire diagnostiquée. Une relation est observée uniquement chez les enfants âgés de 5 à 14 ans mais l'auteur attribue cet effet à une cause virale. Cependant AYRES souligne le faible nombre de médecins « fournisseurs de données » (33 praticiens), la difficulté de définir des zones « exposées » et « non exposées », l'importance relative de l'épisode de pollution, la période de l'étude qui correspond à la saison de l'année où la morbidité respiratoire est maximale (ce qui rend difficile la détection d'un événement « faible ») et la périodicité hebdomadaire du recueil des données qui diminue la sensibilité de l'étude.

MARZIN (26) étudie la relation entre l'importance des crises d'asthme (diagnostics) dans l'activité d'un système de garde médicale à Paris (SOS médecins) et la pollution atmosphérique. Un questionnaire téléphonique permet d'étudier les caractéristiques individuelles des patients et d'estimer l'exposition à la pollution à l'intérieur des locaux. Une analyse temporelle par une étude des corrélations croisées montre une relation ($r = 0,25$, $p < 0,05$) entre l'activité médicale liée à l'asthme et les niveaux de sulfates particuliers du même jour ($\text{SO}_4 = 7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$), ainsi qu'avec les niveaux de O_3 de la veille ($29,6 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$). Cependant les graphes des corrélations croisées ne sont pas évocateurs de relations causales. De plus, les relations observées ne sont plus significatives lorsque les données sont « stationnalisées », c'est-à-dire lorsque le facteur temps est pris en compte dans l'analyse.

Les résultats concernant l'activité en médecine générale sont discordants : si la pollution particulaire semble jouer un rôle sur l'activité liée aux pathologies respiratoire ou cardiovasculaire, la température semble être le principal facteur explicatif des variations d'activité.

Autres types d'activité

Les services de police

ROTTON et FREY (34) étudient entre janvier 1975 et décembre 1976, la relation entre le nombre d'appels à la police pour demande d'assistance lors de problèmes d'urgence psychiatrique (toxicomanie exclue) et les niveaux de pollution. Dans un modèle de régression où la température, la saison, l'effet jour de la semaine et le phénomène d'autocorrélation des données sont pris en compte, les auteurs montrent que ce nombre d'appels est en relation avec les niveaux de pollution oxydante ($r = 0,13$).

Les transports en ambulance

Les transports ambulanciers liés aux pathologies respiratoire ou cardiaque sont étudiés par WICHMANN (43). L'auteur rapporte, lors d'un pic de pollution, une augmentation de 36 % des transports liés à la pathologie respiratoire, et de 25 % pour ceux liés à la pathologie cardiaque. Parmi tous les indicateurs étudiés dans cette enquête, c'est celui qui montre la plus grande augmentation.

L'absentéisme dans les crèches, les écoles ou au travail

BALLERAT (3) étudie l'absentéisme pour pathologie respiratoire dans 35 crèches et observe essentiellement une relation avec la pollution oxydante (NO_2 , NO), avec un délai de 4 jours. Cette association persiste après prise en compte de la température et l'auteur souligne la sensibilité de cet indicateur à la plupart des polluants étudiés (PS, CO, NO_2 , NO, HC).

PÖNKA (31) étudie l'absentéisme dans 14 crèches, 210 écoles et 12 entreprises d'Helsinki. Lorsque l'effet dû à la température est pris en compte, il trouve une liaison entre les niveaux de SO_2 et « l'absentéisme lié à une maladie fébrile » chez les adultes mais pas chez les enfants d'âge scolaire. Cependant, la température joue un rôle important sur la morbidité et l'auteur souligne l'impossibilité de quantifier précisément les rôles respectifs de la pollution, de la température et de leur interaction.

Discussion

Les enquêtes épidémiologiques utilisant des indicateurs d'activité sanitaire pour étudier les effets de la pollution atmosphérique sur la santé relèvent d'une démarche assez récente et parfois

mal comprise. Après avoir précisé leurs objectifs et leur champ d'application, nous discuterons de leurs avantages et de leurs limites qui tiennent essentiellement aux difficultés liées à la mesure des effets sanitaires, à l'estimation de l'exposition à la pollution atmosphérique et à l'utilisation de méthodes statistiques appropriées. Enfin, nous préciserons la place de ces enquêtes dans le contexte de l'épidémiologie décisionnelle.

Objectifs et champ d'application

Aujourd'hui, en raison des connaissances accumulées au cours des années passées, le débat est moins de savoir si la pollution atmosphérique est un facteur causal de la morbidité, que de connaître l'efficacité des normes adoptées pour la protection des populations. Aussi depuis une dizaine d'années environ, de nombreuses enquêtes épidémiologiques, qui auparavant avaient comme objectif principal l'étude de la relation causale entre la pollution atmosphérique et la santé **au niveau individuel** et qui procédaient donc d'une démarche étiologique, ont actuellement pour objectif principal de mesurer l'impact de la pollution atmosphérique sur **la santé de la population**. Or, l'absence de schémas étiopathogéniques clairement établis entre l'exposition à un ou plusieurs polluants et les conséquences sur la santé fait qu'il n'existe pas aujourd'hui d'instruments de mesure spécifiques pour quantifier l'effet de la pollution atmosphérique sur la santé.

Pour répondre à cet objectif, de nombreux auteurs étudient des indicateurs d'activité sanitaire. En effet, ceux-ci peuvent être considérés comme des indicateurs indirects dans le sens où des effets « aspécifiques », c'est-à-dire non reliés de manière strictement causale à la pollution au sens physiopathologique, peuvent être observés à travers l'étude de cette activité.

Ce type d'indicateurs intègre la notion d'interférence entre la survenue d'un trouble lié directement ou indirectement à la pollution atmosphérique et l'activité normale des sujets ; ils répondent ainsi à la notion d'effet adverse sur la santé. En effet, si en 1967 le Conseil de l'Europe avait défini la pollution atmosphérique par « la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion des composants de l'air susceptible de provoquer un effet nocif ... ou de créer une nuisance ou une gêne », aucune définition n'était donnée de ce que constitue un effet nocif pour la santé. En 1985, l'American Thoracic Society, proposa dans le cadre des études épidémiologiques, un guide pour définir un effet adverse respiratoire (1). Un tel effet est défini comme un changement important, physiologique ou pathologique, objectivé par un ou plusieurs des aspects suivants :

- interférence avec l'activité normale ;
- épisode pathologique respiratoire ;
- incapacité liée à la maladie ;
- atteinte progressive de la fonction respiratoire ;
- atteinte respiratoire permanente.

Cette approche fournit un cadre conceptuel dans lequel les indicateurs d'absence, par exemple, correspondent au niveau 1, alors que les indicateurs d'activité des services médicaux correspondent essentiellement au niveau 2.

Ces enquêtes, le plus souvent réalisées en population générale et non pas uniquement sur des populations cibles comme les asthmatiques ou les enfants par exemple, constituent ainsi un instrument de mesure de phénomènes pertinents pour la santé publique.

La mesure des effets sanitaires

Le recours à des indicateurs sanitaires dépourvus de spécificité « étiopathogénique », comme l'indicateur « activité liée à la pathologie respiratoire », rend difficile la quantification de l'effet sur la santé de la pollution atmosphérique. En effet, ces indicateurs sont sensibles à d'autres facteurs comme, par exemple, les phénomènes épidémiques infectieux, les pollens, les poussières, mais aussi les facteurs météorologiques comme la température, les grandes vagues de froid ou de chaleur occasionnant une surmorbidity. Tous ces facteurs constituent des facteurs de confusion dans l'étude de la relation entre la pollution et la santé. Pour augmenter la spécificité des indicateurs sanitaires, certains auteurs étudient des indicateurs par sous groupes d'âge ou de pathologies, comme les sujets asthmatiques ou les sujets présentant une pathologie respiratoire chronique a priori plus sensibles aux effets de la pollution atmosphérique. C'est également pour cette raison que des groupes témoins dont la pathologie ne peut être rattachée directement ou indirectement à la pollution atmosphérique sont étudiés parallèlement, telles les urgences digestives.

Un autre problème souvent soulevé est celui des erreurs diagnostiques et des erreurs de codage, liées à la difficulté d'utiliser en pratique courante les nomenclatures existantes. Cependant, comme le souligne BATES (5), ces erreurs sont plutôt de nature aléatoire. En effet, le plus souvent, les données codées résultent d'une classification effectuée par un grand nombre de médecins (médecins des services de porte ou d'accueil, médecins de réseaux généralistes...). De plus, leur regroupement en types de pathologie lors de l'analyse (respiratoire-non respiratoire, aigu-chronique...) rend peu probable des erreurs systématiques et DEMLO montre

que ces erreurs sont d'autant moins importantes que la classification diagnostique est grossière (9). Globalement, il en résulte une perte de puissance et le risque est davantage de ne pas mettre en évidence une association qui existe réellement que d'induire une relation qui n'existe pas. Pour cette raison, BATES (6) recommande de réaliser des études multicentriques.

Plus que la mesure de l'incidence des « cas » liés à la pollution atmosphérique, les enquêtes reposant sur des indicateurs d'activité sanitaire permettent l'étude des variations au jour le jour (le plus souvent) de l'activité sanitaire. Dans cette optique, l'absence de grande spécificité des indicateurs et les erreurs de classification ont un rôle marginal lorsque les principaux facteurs de confusion sont pris en compte dans l'analyse.

L'estimation de l'exposition à la pollution atmosphérique

Toutes les études sont des enquêtes de type « écologique ». L'hypothèse générale, implicite, est que tous les sujets sont exposés à la pollution atmosphérique urbaine de manière homogène et que leur exposition professionnelle ou à la pollution à l'intérieur des locaux est soit marginale, soit constante dans le temps. Selon HOLLAND (19), cette hypothèse de travail correspond aux situations observées lors des pics de pollution survenus avant les années 70. Leur intensité exposait de larges groupes de population à des concentrations uniformes dans l'espace et dans le temps, sur de courtes périodes. Après les années 70, compte tenu de l'absence d'accidents majeurs de pollution atmosphérique, de la diminution des niveaux de pollution et, par conséquent, de l'importance relative croissante du rôle de la pollution intérieure, l'hypothèse d'une exposition homogène des individus est moins valide. Toutefois, il convient de nuancer ce résultat en fonction de la nature du polluant considéré.

En effet, plusieurs auteurs rapportent que si le polluant a comme principale origine une source d'émission extérieure, alors les concentrations extérieures constituent une bonne estimation de l'exposition individuelle à la pollution urbaine : c'est le cas, par exemple, pour SO_2 , SO_4 ou O_3 pour lesquels l'exposition à la pollution intérieure est négligeable (10, 38). En ce qui concerne le NO_2 , les niveaux extérieurs sont un bon reflet de l'exposition individuelle en l'absence de sources d'émission intérieures dues essentiellement au chauffage au gaz ou au tabagisme. La concordance entre l'exposition individuelle réelle et la pollution atmosphérique mesurée est donc plus élevée en été lorsque les individus passent plus de temps à l'extérieur et lorsque la ventilation naturelle des locaux est plus importante. En revanche, pour les particules

finies, les niveaux d'exposition individuelle sont fortement conditionnés par les niveaux de pollution intérieure (10).

Étudiant les méthodes de mesure d'exposition, SILVERMAN (36) et SPENGLER (37) ont montré que les mesures de type individuel effectuées au moyen de badges (NO_2) ne présentent généralement qu'une faible corrélation avec les mesures de type écologique, et que l'estimation de l'exposition des individus à la pollution atmosphérique à partir des mesures individuelles est largement plus élevée. Ainsi, d'un point de vue statistique, dans les enquêtes de type écologique le risque est celui d'une perte de puissance qui expose à une sous-estimation de la relation étudiée et rend ainsi plus difficile la détection d'un effet. De plus, cette perte de puissance est d'autant plus importante que les niveaux d'exposition sont faibles et que l'association exposition-maladie l'est également (44). Dans ce contexte, un effet mis en évidence dans une enquête écologique pour un certain niveau de pollution atmosphérique aurait pu, avec une mesure de type individuel, être détecté pour un niveau de pollution moins élevé. Inversement, dans ce type d'enquête, l'absence d'effet observé sur la santé de la pollution atmosphérique ne peut être interprétée comme la preuve d'une absence d'effet réel.

De nombreux auteurs soulignent que les mesures de concentrations de polluants, quel que soit le degré de leur spécificité, constituent en fait plus des indicateurs globaux d'un type de pollution, que la mesure d'une exposition particulière à un polluant. En effet, le rôle attribué aux particules par exemple, peut être en fait imputable à certaines substances rentrant dans leur composition. La caractérisation de l'aérosol atmosphérique par ces indicateurs et la comparaison des niveaux de pollution d'une étude à l'autre restent donc possibles tant que la composition de cet aérosol reste inchangée dans le temps. Or, dans la plupart des pays, avec la réduction de la pollution soufrée par l'utilisation de nouveaux moyens de combustion et avec le développement de la pollution due à l'automobile, non seulement les types de pollution ont été modifiés mais la composition des aérosols est très variable d'un endroit à l'autre. Dès lors, il semble difficile de vouloir interpréter les résultats de toutes ces études en terme de risque attribuable à un type de polluant. Il nous semble plus pertinent aujourd'hui de parler de risque attribuable à des situations environnementales atmosphériques.

Les méthodes d'analyse statistique

Qu'il s'agisse de la mesure des effets sanitaires ou de la mesure de la pollution, les

indicateurs ne sont pas, comme nous l'avons vu, totalement spécifiques de la relation étudiée. Des facteurs de confusion peuvent donc être à l'origine de fausses corrélations positives ou négatives entre la pollution et l'activité sanitaire, et inversement.

Ainsi, les résultats provenant des études pour lesquelles l'analyse des données est de type bivarié, doivent être nuancés et discutés. De toute façon, il n'est pas raisonnable, à partir de telles études, de vouloir estimer une relation entre un polluant particulier et un effet sur la santé. Tout au plus, on peut considérer le polluant étudié comme un indicateur global environnemental.

Pour cette raison, la plupart des auteurs mettent en oeuvre des méthodes d'analyse statistique de type multivariée qui permettent la prise en compte de ces facteurs. La méthode la plus fréquemment utilisée est la régression linéaire multiple. Le principe général est d'étudier le lien entre un indicateur d'activité sanitaire (la variable à expliquer) et une ou plusieurs variables de pollution atmosphérique (les variables explicatives) en introduisant dans le modèle une ou plusieurs autres variables qui sont supposées jouer un rôle sur la variabilité des données. Ce type de modèle permet ainsi de tester l'existence d'une liaison entre la pollution et la santé, à niveau constant des autres facteurs. Elle permet également de quantifier cette liaison. Les résultats sont exprimés sous la forme de coefficients de régression qui estiment la proportion d'augmentation de l'activité sanitaire attribuable à l'augmentation d'une unité de polluant(s). Si les facteurs météorologiques sont fréquemment étudiés, peu d'auteurs en revanche, s'intéressent aux viroses ou aux pollens.

La prise en compte de la covariation temporelle des indicateurs d'activité sanitaire et des indicateurs d'environnement, qui peut à elle seule créer une relation qui n'existe pas, relève des techniques d'analyses temporelles qui sont mises en oeuvre de plus en plus souvent par les auteurs. Il s'agit essentiellement de l'analyse de séries chronologiques qui permet de modéliser la structure temporelle intrinsèque de chacune des séries, c'est-à-dire de prendre en compte dans l'estimation de la relation étudiée, la tendance générale des variables et leurs variations cycliques (effets jour de la semaine, semaine, saison, vacances par exemple). Secondairement, l'étude des corrélations croisées des variables « désaisonnalisées », c'est-à-dire auxquelles les phénomènes temporels ont été soustraits, permet de tester leur liaison en contrôlant le facteur temps. De plus, la distribution des coefficients de corrélations croisées permet d'évoquer une relation de type causal (le lien de causalité devant être défini sur le plan biologique).

Dans cette approche, comme nous l'avons déjà signalé, il s'agit avant tout d'étudier les variations relatives, au jour le jour, entre l'activité sanitaire et la pollution atmosphérique. Ainsi, la prise en compte dans l'analyse, de facteurs individuels susceptibles d'interférer avec la pollution sur la santé, comme le tabagisme (actif ou passif), les antécédents personnels de santé ou les niveaux d'exposition professionnelle n'est pas nécessaire car les variations individuelles au jour le jour, peu probables sur une courte période, ne sont pas susceptibles de modifier en elles mêmes l'activité sanitaire.

Vers une épidémiologie décisionnelle

Les travaux de recherche consacrés à l'influence de la pollution atmosphérique sur la santé et, en particulier les études épidémiologiques de type étiologique, ont permis de mettre en évidence, au niveau individuel, l'existence de relations entre des expositions particulières à des polluants et des pathologies spécifiques. Mais le retentissement au niveau de la population des épisodes de pollution qui surviennent en milieu urbain, du fait principalement de conditions météorologiques défavorables à la diffusion des polluants, n'a que rarement été évalué.

Actuellement, il existe des normes de qualité environnementale, sous formes de valeurs guides de la qualité de l'air émises par l'OMS (29), de valeurs limites imposées par la CEE (28) qui ont été traduites en droit français en 1991. Leur objectif est de limiter les effets de la pollution sur la santé des populations. Cependant de nombreuses incertitudes persistent quant à leur effet protecteur, en particulier vis à vis des effets des pics de pollution. Or une telle connaissance est indispensable pour choisir un seuil "acceptable" d'exposition et pour justifier la mise en oeuvre de mesures de contrôle contraignantes pour les activités économiques comme pour la vie quotidienne des citoyens : limitation de l'activité industrielle, utilisation de ressources énergétiques moins polluantes mais plus coûteuses, limitation de la circulation automobile. Cette incertitude relative aux conséquences sanitaires des épisodes de pollution, pose des problèmes décisionnels difficiles lorsque les seuils de pollution sont dépassés.

Aujourd'hui, il apparaît difficile de définir précisément la pollution atmosphérique tant au niveau de la mesure de l'exposition qu'au niveau de ses effets sur la santé. Il existe plutôt des phénomènes environnementaux qui pourraient être définis en termes de risque pour la santé. Disposer de paramètres épidémiologiques pertinents apparaît donc comme une nécessité. Or, la majorité des enquêtes que nous avons

étudiées montrent qu'il existe un lien entre des polluants atmosphériques et l'activité sanitaire, et cela pour des niveaux d'exposition inférieurs aux normes en vigueur. En quantifiant l'impact des épisodes aigus de pollution atmosphérique à partir d'indicateurs d'activité sanitaire, témoins indirects des effets adverses de la pollution sur la santé de la population générale, les enquêtes épidémiologiques reposant sur de tels indicateurs peuvent constituer un outil d'aide à la décision dans les politiques d'environnement. Elles apportent véritablement les éléments d'une évaluation des risques de santé publique liés à la pollution atmosphérique. Dès lors, comme le précise DAB (8), la détermination de niveaux de risque sanitaire acceptables socialement et épidémiologiquement devrait permettre la gestion optimale des ressources allouées à la dépollution.

Mots-clés

Pollution atmosphérique – Activité sanitaire – Épidémiologie – Synthèse bibliographique.

Remerciements : Ce travail a été rendu possible grâce aux financements du Conseil Régional de l'Ile-de-France, du Ministère de l'Environnement (Service de la Recherche des Études et du Traitement de l'Information sur l'Environnement), de la Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de l'Ile-de-France et de EDF-GDF (Service des Études Médicales).

Références bibliographiques

- (1) American Thoracic Society. Guidelines to what constitutes an adverse respiratory health effect, with special reference to epidemiologic studies of air pollution. *American Review of Respiratory Disease*, 1985, 131, 666-668.
- (2) AYRES J., FLEMING D., WILLIAMS M., McINNES G. Measurement of respiratory morbidity in general practice in the United Kingdom during the acid transport event of January 1985. *Environmental Health Perspectives*, 1989, 79, 83-88.
- (3) BALLERAT G., ETARD J. F., HOURS M., PALLÉN C., FABRY J. Étude Air-Santé Rhône Hiver 89-90. Rapport Mars 1991; 76 pages (Université Claude Bernard Institut d'Épidémiologie).
- (4) BATES D. V., SIZTO R. Relationship between air pollutant levels and hospital admissions in Southern Ontario. *Canadian Journal of Public Health*, 1983, 74, 117-122.
- (5) BATES D. V., SIZTO R. Air pollution and hospital admissions in southern Ontario : the acid summer haze effect. *Environmental Research*, 1987, 43, 317-331.
- (6) BATES D. V., BAKER-ANDERSON M., SIZTO R. Asthma attack periodicity : a study of hospital emergency visits in Vancouver. *Environmental Research*, 1990, 51, 51-70.
- (7) BRIERE J., DOWNES A., SPENSLEY J. Summer in the city : urban weather conditions and psychiatric emergency-room visits. *Journal of Abnormal Psychology*, 1983, 92, 77-80.
- (8) DAB W., ABENHAIM L. Intérêts et limites des méthodes épidémiologiques pour l'étude des effets de la pollution atmosphérique chez l'homme. *Pollution Atmosphérique*, octobre-décembre 1987, 330-335.
- (9) DEMLO L. K., CAMPBELL P. M., SPAGHT BROWN S. Reliability of information abstracted from patients medical records. *Medical Care*, 1978, 16, 995-1005.
- (10) DOCKERY D., SPENGLER J. Indoor-outdoor relationships of respirable sulfates and particles. *Atmospheric Environment*, 1981, 15, 335-343.
- (11) DU VE FLOREY C. Weak associations in epidemiological research : some examples and their interpretation. *International Journal of Epidemiology*, 1988, 17, 950-954.
- (12) E.R.P.U.R.S. Effets à court et moyen terme de la pollution atmosphérique sur la santé. Rapport ORS Ile-de-France, Paris, février 1991.
- (13) GILLI G., BONO R., CALLERI M., CORRAO G., SCURSATONE V. Air pollution and health : a descriptive study among populations of the urban area of Turin. *Atmospheric Environment*, 1988, 22, 193-194.
- (14) GOLDSMITH J. R., GRIFFITH H. L., DETELS R., BEESER S., NEUMANN L. Emergency room admissions, meteorologic variables, and air pollutants : a path analysis. *American Journal of Epidemiology*, 1983, 5, 759-778.
- (15) GOLDSTEIN I. F., RAUSCH L. E. Time series analysis of morbidity data for assessment of acute environmental health effects. *Environmental Research*, 1978, 17, 266-275.
- (16) GOLDSTEIN I. F., WEINSTEIN A. Air pollution and asthma : effects of exposures to short-term sulfur dioxide peaks. *Environmental Research*, 1986, 40, 332-345.
- (17) Greenburg L., Field F., Erhardt C. L., Glasser M., Reed J.T. Air pollution, influenza and mortality in New-York city. *Archives of Environmental Health*, 1967, 15, 430-438.
- (18) GROSS J., GOLDSMITH J. R., ZANGWILL L., LERMAN S. Monitoring of hospital emergency room visits as a method for detecting health effects of environmental exposures. *Science of the Total Environment*, 1984, 32, 289-302.
- (19) HOLLAND W. W., BENNET A. E., CAMERON I. L. Health effect of particulate pollution : reappraising the evidence. Special issue on particular air pollution. *American Journal of Epidemiology*, 1979, 110, 525-659.
- (20) KARDAUN J., VAN DER MAAS P., HABBEMA J. D., LEENTVAR-KUIJPARS, RIJCKEN B. Incidence of diseases of the lower respiratory tract in family practice and low level air pollution. *Journal of Family Practice*, 1989, 6 (2), 86-91.

- (21) KLOPPER J. Effects of environmental air pollution on the eye. *Journal of the American Optometric Association*, 1989, 60 (10), 773-778.
- (22) KURT T. L., MOGIELNICKI R. P., CHANDLER J. E., HIRST K. Ambient carbon monoxide levels and acute cardiorespiratory complaints : an exploratory study. *American Journal of Community Health*, 1979, 69, 360-363.
- (23) LEVY D., GENT M., NEWHOUSE M. T. Relationship between acute respiratory illness and air pollution levels in an industrial city. *American Review of Respiratory Disease*, 1977, 116, 167-173.
- (24) LOGAN W. P. D. Mortality in the London fog incident. *Lancet*, 1953, 9, 1-52.
- (25) LUTZ L. J. Health effects of air pollution measured by outpatient visits. *The Journal of Family Practice*, 1983, 16, 307-313.
- (26) MARZIN C., LE MOULLEC Y., ANCELLE T., JUHEL J., FESTY B., PRETET S. Asthme urbain, habitat et pollution de l'air. *Pollution Atmosphérique*, avril-Juin 1991, 177-192
- (27) MAZUMDAR S., SUSSMAN N. Relationships of air pollution to health : results from the Pittsburgh University. *Archives of Environmental Health*, 1983, 38, 17-24.
- (28) O'RIORDAN T. Air pollution legislation and regulation in the european community : a review essay. *Atmospheric Environment*, 1989, 23, 293-306.
- (29) Organisation Mondiale de la Santé (WHO regional office for Europe). Air Quality Guidelines for Europe. WHO regional publications European series n°23 1987, 426 pages.
- (30) PICKLES J. H. Health risks and air pollution - error analysis for a cross sectional mortality study. *Risk Analysis* 1986, 6, 203-212.
- (31) PÖNKÄ A. Absenteeism and respiratory disease among children and adults in Helsinki in relation to low-level air pollution and temperature. *Environmental Research* 1990, 52, 34-46.
- (32) POPE C. A. Respiratory disease associated with community air pollution and a steel mill, Utah Valley. *American Journal of Community Health*, 1989, 79 (5), 623-628.
- (33) RICHARDS W., AZEN S. P., WEISS J., STOCKING S., CHURCH J. Los Angeles air pollution and asthma in children. *Annals of Allergy*, 1981, 47, 348-354.
- (34) ROTTON J., FREY J. Psychological cost of air pollution : atmospheric conditions, seasonal trends, and psychiatric emergencies. *Population and Environment*, 1984, 7, 3-16.
- (35) SAMET J. M., SPEIZER F. E., BISHOP Y., SPENGLER J. and FERRIS B. The relationship between air pollution and emergency room visits in an industrial community. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 1981, 31, 236-240.
- (36) SILVERMAN F., PENGELLY L. D., MINTZ S., KERIGAN A.T., HOSEIN H.R., COREY P., GOLDSMITH C.H. Exposure estimates in assessing health effects of air pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1982, 2, 233-245.
- (37) SPENGLER J. D., DUFFY C. P., LETZ R., TIBBITTS T. W., FERRIS B. G. Nitrogen dioxide inside and outside 137 homes and implications for ambient air quality standards and health effects research. *Environmental Science and Technology*, 1983, 17, 164-168.
- (38) STOCK T. H., KOTCHMAR D. J., CONTANT C. F., BUFFER P. A., HOLGUIN A. H., GEHAN B. M., NOEL L. M. The estimation of personal exposures to air pollutants for a community-based study of health effects in asthmatics - design and results of air monitoring. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 1985, 35, 1266-73.
- (39) STRAHILEVITZ M., STRAHILEVITZ A., MILLER J. Air pollutants and the admission rate of psychiatric patients. *American Journal of Psychiatry*, 1979, 136, 205-207.
- (40) SUNYER J., ANTO J. M., MURILLO C., SAEZ M. Effects of urban air pollution on emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease. *American Journal of Epidemiology*, 1991, 134, 277-289.
- (41) SWEENEY J. C. Air pollution and morbidity in Dublin. *Irish Geography Dublin*, 1982, 15, 1-10.
- (42) VILLALBI J. R., MARTI J., AULI E., CONILLERA P., MILLA J. Morbilidad respiratoria y contaminación atmosférica. *Medicina Clínica (Barcelona)*, 1984, 82, 695-697.
- (43) WICHMANN H. E., MUELLER W., ALLHOFF P., BECKMANN M., BOCTER N., CSICSAKY M. J., JUNG M., MOLIK B., SCHOENEBERG G. Health effects during a smog episode in West Germany in 1985. *Environmental Health Perspectives*, 1989, 79, 89-99.
- (44) WINKELSTEIN W., LEVIN L., JOHNSON K. Re : « Health effects of particulate pollution : reappraising the evidence. » Letters to the editor. *American Journal of Epidemiology*, 1982, 115, 471-475.