



HAL
open science

Pollution atmosphérique et épidémiologie en France : une longue maturation

Bernard Festy, P. Quenel

► **To cite this version:**

Bernard Festy, P. Quenel. Pollution atmosphérique et épidémiologie en France : une longue maturation. Pollution Atmosphérique : climat, santé, société, 2003, 23-34. hal-04839165

HAL Id: hal-04839165

<https://hal.science/hal-04839165v1>

Submitted on 28 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.

Pollution atmosphérique et épidémiologie en France : une longue maturation

Pr Bernard FESTY*, Dr Philippe QUÉNEL**

Les préoccupations d'ordre médical et de santé publique relatives aux phénomènes de pollution atmosphérique ne sont pas récentes. En France, la notion d'installation classée est née au début du XIX^e siècle en rapport avec la perception des nuisances et des risques liés au fonctionnement des premières installations industrielles. Cependant, la dimension sanitaire n'a été ressentie que plus tard en terme d'hygiène publique, ce qui s'est traduit entre autres par la création de l'instance qui deviendra le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) et, avec un certain délai, par celle d'un ministère chargé de la santé. Au cours de ces dernières années, ces préoccupations ont considérablement évolué et grandi avec la place croissante prise par divers concepts tels l'environnement et l'écologie, la santé environnementale, l'évaluation et la gestion des risques, la sécurité sanitaire et le développement durable.

C'est dans ce contexte général que nous présentons ci-dessous un historique retraçant l'évolution de l'épidémiologie française dans la problématique générale de la pollution atmosphérique.

La période 1950-1970

La pollution atmosphérique n'a pris une place importante comme problème social qu'à partir des années 1950, marquées par une série d'épisodes majeurs de pollution. Pourtant, c'est dès les années 1930 que survinrent les premières « alertes à la pollution » dans les zones fortement industrialisées et urbanisées, notamment, dans la vallée de la Meuse en Belgique [1], à Donora aux États-Unis en 1948 [2] ou à Poza Rica au Mexique [3]. Mais il faudra attendre les épisodes dramatiques de pollution survenus à Londres au début de l'hiver 1952 (au cours duquel on enregistra un excès de 4 000 décès sur deux semaines) [4], puis en 1956 et 1957, pour observer une véritable prise de conscience de l'opinion concernant ces questions. Ces épisodes conduisirent

le gouvernement britannique à l'adoption d'un programme de lutte et sensibilisèrent progressivement d'autres États (*US Clean Air Act*, 1963).

C'est ainsi que dans la plupart des pays industrialisés, les premiers mesurages des niveaux de pollution datent des années 1960. À cette époque, la pollution atmosphérique était perçue comme un phénomène de dimension locale, essentiellement d'origine industrielle et de type acido-particulaire (liée aux poussières et aux gaz acides). Ses conséquences sanitaires étaient jugées comme peu importantes, sauf pour les populations résidant dans le voisinage immédiat des installations industrielles à l'occasion d'épisodes de niveaux élevés de pollution. Cette perception se traduisit par une lutte orientée vers les sources industrielles et de chauffage avec la mise en place des premiers réseaux de surveillance de la qualité de l'air à proximité de ces sources et l'adoption de réglementations relatives à la qualité de l'air. À partir des années 1970, la création de ministères de l'Environnement accéléra ce processus. Ainsi, dans la plupart des pays industrialisés, les progrès technologiques réalisés dans les années 1960, les normes de rejets imposées dans ce secteur et les changements de sources énergétiques dans les années 1970, permirent de réduire considérablement la pollution résultant des émissions industrielles et du chauffage.

C'est dans ce contexte que les premiers travaux français en rapport avec les préoccupations sanitaires de la pollution atmosphérique urbaine ont été orientés sur le mesurage des principaux indicateurs de pollution de l'époque (acidité forte – AF, fumées noires – FN, indicateurs des combustions impliquant des sources fixes, et monoxyde de carbone – CO, marqueur de sources mobiles). Cette surveillance, fondée sur une approche normative visait à comparer les niveaux observés à des valeurs de référence proposées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS)*** dans une optique beaucoup plus proche de la démarche d'hygiène publique que celle de l'évaluation quantitative du risque (danger, relation exposition-risque, estimation de l'exposition et caractérisa-

* Professeur émérite de l'Université Paris V, Président de l'APPA. APPA – 10, rue Pierre Brossolette – 94270 Le Kremlin-Bicêtre.

** MD, PhD, Coordonnateur scientifique, Cellule Inter Régionale d'Épidémiologie Antilles-Guyane – Centre Delgrès – Les Hauts de Dillon BP 656 – 97262 Fort-de-France Cedex France – E-mail : pquene@outremer.com

***Rapport technique OMS n° 505 (1973) : surmortalité et surcroît d'hospitalisations à partir de concentrations journalières de 500 µg/m³ (SO₂ et particules), aggravation des affections pulmonaires au-delà de 250 µg/m³ (id), symptômes respiratoires pour des valeurs annuelles moyennes de 100 µg/m³.

tion du risque) développée plus tard, aux États-Unis. Cette approche des années 1950 et 1960, encore marquée « d'hygiénisme » (parfois considérée à tort avec une certaine condescendance de nos jours) a été très utile en terme de prévention, mais sans doute de manière trop passive. Il faut dire qu'à cette époque, la toxicologie et l'épidémiologie environnementale n'étaient guère en vogue, notamment en France.

La première étude française de caractère épidémiologique est sans doute celle menée par le Pr Victor Raymond, alors président de la Commission interministérielle sur la pollution atmosphérique et vice-président de l'APPA. En 1960, il publie dans le bulletin de l'APPA de l'époque, une analyse à l'échelle mensuelle, au cours de la période 1959-1960, de la mortalité en région parisienne en relation avec la pollution atmosphérique (anhydride carbonique, anhydride sulfureux et poussières) et les facteurs météorologiques [5]. Aucune relation directe n'est mise en évidence, sauf en deux occasions (février 1960) et l'auteur reste alors très prudent dans ses conclusions du fait, notamment, des limites méthodologiques de l'étude. Il insistait cependant sur l'intérêt de se préoccuper de la morbidité en relation avec la pollution atmosphérique.

La période 1970-1990

L'étude des effets sanitaires de la pollution atmosphérique a connu un véritable développement au début des années 1970 avec l'éclosion de l'épidémiologie environnementale hors milieu professionnel. Cette évolution s'est traduite en France par une implication progressive des chercheurs intéressés par les relations entre pollution atmosphérique et santé. On assiste alors à la mise en place d'études épidémiologiques qui, progressivement, passent (au niveau de l'analyse des données) d'un stade plutôt « rudimentaire » au niveau sophistiqué que nous connaissons aujourd'hui. Nous nous garderons de porter des jugements de valeur sur la qualité des études et publications réalisées au cours de cette période ; notre souci est davantage de rappeler aux lecteurs cette longue période de « maturation épidémiologique » dans le domaine des pollutions atmosphériques.

Bien que les premiers travaux de recherche se soient intéressés aux effets sanitaires à court terme de la pollution atmosphérique, cette période est caractérisée par la prédominance de la question des effets à moyen terme.

Une première étude du Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris, LHVP (Dr Coin puis B. Festy et P. Lazar) marque la décennie 1970 [6]. Elle vise à relier, pour les années 1970 et 1971, l'absentéisme scolaire à Paris avec les variations journalières des niveaux d'AF et de FN, la température et l'humidité atmosphériques. Des corrélations sont ainsi observées avec les indicateurs AF et AF/FN avec un décalage d'une

journée entre l'absentéisme et les niveaux de pollution atmosphérique. Mais l'approche méthodologique est sujette à caution et l'on est loin, à cette époque, des apports décisifs actuels de l'analyse des séries chronologiques. Les mêmes limites méthodologiques valent également pour une étude du même laboratoire visant à relier la mortalité à Paris avec des épisodes de pollution atmosphérique particulièrement marqués de 1967 à 1973 [7].

En 1976, Tessier et al. tentent de mettre en relation, de 1970 à 1973, l'absentéisme scolaire pour causes respiratoires et les niveaux de pollution atmosphérique (SO₂ et FN) à Bordeaux [8]. Outre le parallélisme des deux types de courbes d'évolution quotidienne, une analyse statistique de corrélation montre que les coefficients de corrélation sont plus importants pour la zone urbaine centrale où les niveaux de pollution atmosphérique étaient à la fois plus élevés et plus variables dans le temps. Cela semble confirmé pour les épisodes (pics) de pollution atmosphérique, avec un temps de latence entre l'exposition et l'absentéisme. Les corrélations sont moins marquées s'agissant des absences pour affections des voies respiratoires hautes et bronchites.

Une des rares études françaises d'exposition humaine contrôlée (EHC) aux polluants atmosphériques est conduite, en 1976, par Orehek et al. [9] qui testent les effets de concentrations réalistes de NO₂ (0,1 ppm × 1 h) pour 20 patients asthmatiques. Chez 13 d'entre eux, il est observé une augmentation légère, mais significative, de la résistance des voies aériennes et un accroissement de l'effet bronchoconstricteur du carbacol. Chez les 7 autres patients aucun effet n'est observé et une concentration double de NO₂ entraîne des effets variables chez la plupart des sujets.

La première enquête française importante en terme de morbidité a été réalisée par S. Perdrizet et al. en 1975, dans le cadre d'une enquête européenne [10]. Il s'agissait d'évaluer par interview la prévalence de symptômes et d'affections respiratoires ainsi que les performances ventilatoires chez des enfants âgés de 6 à 11 ans en fonction de différents facteurs, parmi lesquels la pollution atmosphérique (AF et FN) et le tabagisme parental. Pour cela, 19 aires géographiques sont choisies en Europe, rassemblant plus de 22 000 enfants (en France, 7 zones sont étudiées : Bordeaux, Lacq (n = 2), Moissac, Lyon (n = 2), Paris). Cette étude montre l'existence de prévalences fort différentes en termes de symptomatologie ou de pathologie, notamment en France, selon les zones explorées. Des corrélations sont ainsi établies entre les données sanitaires et diverses caractéristiques socio-démographiques, le tabagisme domestique et les indicateurs de pollution atmosphérique (ayant donné lieu à intercalibration métrologique). La part de ces derniers restait toutefois modeste et sujette à caution, selon les auteurs.

Une autre enquête française multicentrique a particulièrement marqué la communauté scientifique française concernée par la pollution atmosphérique :

il s'agit de l'enquête PAARC (groupe coopératif Pollution Atmosphérique et Affections Respiratoires Chroniques) [11]. Cette étude visait à établir, au cours de la période 1974-1976, des relations entre la pollution atmosphérique et la fonction respiratoire (vitalographe) ainsi que la prévalence des symptômes respiratoires (estimée à partir de questionnaires standardisés). Elle portait sur 28 zones contrastées de 7 villes (Bordeaux, Lille, Lyon, Mantes, Marseille, Rouen, Toulouse) et une zone industrielle (Fos-Berre). Les indicateurs de pollution étaient le SO_2 et l'AF, les particules en suspension (méthodes gravimétrique et réflectométrique) et les NO_x . Les sujets suivis étaient des hommes et des femmes âgés de 25 à 59 ans (7 581 et 9 083), non travailleurs manuels et des enfants âgés de 6 à 10 ans (1 291 et 1 236). Les résultats confirment l'importance de l'âge, du tabagisme mais aussi d'expositions professionnelles modérées sur les paramètres de santé étudiés. Dans 20 zones, la concentration de SO_2 était associée, chez les adultes des deux sexes, à la prévalence des symptômes des voies respiratoires inférieures et, chez l'enfant, à celle des symptômes des voies respiratoires supérieures. Cet indicateur de pollution atmosphérique est inversement associé, dans les deux cas, au volume expiratoire maximal seconde (VEMS). Les autres indicateurs de pollution atmosphérique ne montrent aucune association avec les symptômes ou la fonction ventilatoire.

Les résultats de ces deux études, qui concluaient à une relation, somme toute, relativement modeste, entre la pollution atmosphérique et la prévalence de troubles respiratoires, ont eu un impact important par la suite ; ils ont contribué à faire émerger la notion que les effets sanitaires de la pollution atmosphérique, du fait notamment des politiques de réduction des émissions, ne constituaient plus un enjeu de santé publique. Cependant, au début des années 1980, on assiste à un renouveau des études épidémiologiques qui, désormais, se centrent essentiellement sur les effets à court terme de la pollution atmosphérique.

Ainsi, en 1983, Loewenstein et al. [12] cherchent à mettre en relation, de 1969 à 1976, et à l'échelle quotidienne, la mortalité à Paris (par causes et âges) et les niveaux de pollution atmosphérique (AF et FN) et/ou des paramètres météorologiques (type de temps, température, humidité, pression). Des relations entre la mortalité et la pollution atmosphérique et leur interaction avec les conditions météorologiques sont alors observées et décrites par diverses approches statistiques. La relation est particulièrement claire pour les sujets âgés, notamment avec les causes respiratoires pour un décalage de 2 à 3 jours, ou plus. Les facteurs climatiques jouent aussi un rôle, mais moins marqué que la pollution atmosphérique. La même année, ces auteurs recourent à la même approche à l'occasion de deux épisodes spécifiques survenus à Paris en décembre 1962 (avec une forte mortalité due à une épidémie de grippe) et en décembre 1972-janvier 1973 (avec de forts niveaux de pollution atmosphérique) [13]. Les résultats mettent en évidence un excès de mortalité respiratoire

chez les personnes âgées de plus de 75 ans lors de l'épisode de forte pollution et chez les sujets plus jeunes lors de l'épisode de grippe. Les effets de la pollution atmosphérique n'étaient pas décelés à moins de $300 \mu\text{g m}^{-3}$ d'AF mais ils sont systématiquement observés au-delà de 400 alors qu'un *harvesting effect* (compensation temporelle du taux de mortalité) est mis en évidence après les deux épisodes.

Deux ans après, la même équipe publie les résultats d'une étude longitudinale de 30 mois portant sur une population de 1 500 sujets âgés, placés en institution de long séjour à Ivry-sur-Seine, et suivis chaque jour sur le plan médical (6 300 épisodes pathologiques identifiés) [14]. Les paramètres environnementaux mesurés sont les NO_x , le SO_2 et les particules, ainsi que la température, l'humidité et la pression, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments. La méthode des corrélations croisées utilisée pour analyser les données montre que, seuls, les NO_x sont significativement associés au taux d'incidence des pathologies respiratoires.

Suite à ces travaux, la question des effets à moyen terme revient sur le devant de la scène. Ainsi, en 1987, Kleisbauer et al. étudient, de décembre 1983 à février 1984, les répercussions cliniques et spirométriques de l'exposition chronique à la pollution atmosphérique soufrée et particulaire émise par une centrale thermique (Gardanne) utilisant un charbon riche en soufre [15]. Deux groupes de femmes au foyer sont comparés : l'un « exposé », à Gardanne (258 femmes), l'autre, « témoin » à Trets, ville voisine non affectée par cette pollution (247 femmes). Chez les fumeuses (jeunes) et les non-fumeuses, la prévalence des symptômes bronchiques et ORL est plus élevée dans la ville « polluée », les valeurs des paramètres fonctionnels respiratoires y étant plus faibles.

En 1988, ce même groupe d'auteurs cherche à mettre en évidence le rôle de la pollution atmosphérique urbaine dans l'accroissement de la fréquence de l'asthme et des maladies allergiques [16]. Les auteurs comparent ainsi ces taux de prévalence chez des adultes vivant en milieu urbain ou rural. Les indicateurs sanitaires étudiés sont constitués des visites à domicile effectuées par les médecins, et des réponses à un questionnaire. Un sous-groupe de sujets affectés par le rhume des foins est soumis à des tests cutanés aux pollens de végétaux. Les résultats de cette étude ne mettent pas en évidence de différences de prévalence entre les populations des deux localités, pourtant caractérisées par des niveaux très différents de pollution atmosphérique.

De 1985 à 1986, Boussin et al. étudient, à Toulouse, une population de 1 000 enfants scolarisés âgés de 8 à 10 ans appartenant à cinq zones plus ou moins différentes sur le plan socio-économique et au regard de la pollution atmosphérique [17]. L'utilisation de corrélations croisées permet alors de mettre en évidence une relation entre certains indicateurs de pollution atmosphérique (NO_x , fumées

noires, composés ammoniacaux particulaires) et la pathologie respiratoire aiguë.

La fin des années 1980 est marquée par le développement d'études épidémiologiques qui, s'intéressant toujours aux effets à court terme, préfigurent ce qui plus tard sera rassemblé sous le terme de surveillance épidémiologique et qui consiste à recourir de manière systématique à des indicateurs d'activité médicale pour estimer les risques liés à la pollution atmosphérique.

Ainsi, trois enquêtes épidémiologiques relatives à la pathologie respiratoire aiguë sont réalisées par Gervois et al. (1988) [18] dans la région Nord-Pas-de-Calais. Effectuées à Quiévrechain (1974-1975), à Loos (1978-1979) [19], à Saint-Pol-sur-Mer, Dunkerque et Gravelines (1981-1982) [18], elles reposent sur la participation de médecins praticiens libéraux et/ou sur des données issues du système de sécurité sociale (déclarations d'arrêt de travail et déclarations de maladie). Les résultats montrent l'existence de relations entre la pathologie respiratoire aiguë et la pollution atmosphérique de fond (SO₂ et FN), même pour des niveaux modérés. Ces effets sont plus marqués en fonction de l'âge et du sexe, du tabagisme et de l'alcoolisme, et des expositions professionnelles. Ils semblent également majorés lors des épisodes de pollution atmosphérique. Les auteurs soulignent toutefois les limites des analyses réalisées.

En 1989, dans les suites de l'enquête PAARC déjà mentionnée, Derriennic et al. étudient l'évolution quotidienne de la mortalité à Lyon et à Marseille en fonction des niveaux de pollution atmosphérique [19]. Une association significative est observée entre le SO₂ et les décès pour cause respiratoire, avec un temps de latence allant jusqu'à 10 jours, dans les deux cités, chez les hommes et les femmes âgés de 65 ans et plus. Aucune relation cohérente n'est cependant observée entre le SO₂ et la mortalité cardiovasculaire, ni entre les particules en suspension et les deux types de mortalité.

La période 1990-2000

En 1990, Chailleux et al. testent à Saint-Nazaire l'hypothèse d'une exacerbation possible des crises d'asthme par la pollution atmosphérique extérieure, en suivant les admissions hospitalières à l'échelle quotidienne ainsi que les variables météorologiques [20]. L'enquête rétrospective, qui dure 18 mois, permet de collecter 372 admissions (229 sujets). Une corrélation significative est mise en évidence entre admissions et FN, notamment pour les sujets âgés de moins de 15 ans ; cette relation est moins nette avec SO₂.

En 1991, Ballerat et al. réalisent, à Lyon, une étude rétrospective (hiver 1989-1990) visant à associer quotidiennement niveaux de pollution atmosphérique (SO₂, particules, NO_x) à des indicateurs de santé, tels que les hospitalisations (pédiatrie, pneumologie, ORL, ophtalmologie, urgences) et

absentéisme (à l'école, en crèches ou en milieu hospitalier) [21]. Des associations positives significatives sont observées. Ce travail conduit alors à préciser ce que pourrait être une surveillance prospective des risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique : il constitue une charnière dans la manière d'aborder cette problématique.

Les années suivantes se caractérisent par un développement important des études épidémiologiques temporelles, appelées aussi études écologiques temporelles. Celles-ci sont menées à la suite des publications scientifiques réalisées à la fin des années 1980 par des auteurs américains, notamment Schwartz [22]. Basée sur l'étude des corrélations temporelles, au jour le jour, entre des indicateurs de pollution atmosphérique et des indicateurs de mortalité ou d'activité du système de soins, elles ont vu leur essor favorisé par le développement d'outils de modélisation statistique sophistiqués, issus de l'économétrie. Ceux-ci permettent d'étudier de manière extrêmement fine et sans *a priori* sur leur forme, les relations non linéaires entre les deux types d'indicateurs. De par leur conception et le recours à ces modèles d'analyse, ces études permettent également de contrôler de manière fiable les facteurs de confusion qui, jusqu'alors, constituaient une limite majeure quant à l'interprétation des résultats de ces études.

Une autre contribution importante de ces études est d'avoir aidé à développer, en France, la multidisciplinarité nécessaire pour étudier de manière appropriée les effets de la pollution atmosphérique sur la santé autour du concept central d'exposition des populations. C'est sans doute cette multidisciplinarité qui a contribué le plus à l'évolution radicale concernant les fondements de la surveillance et des méthodes mises en œuvre, tant dans le domaine de la métrologie que celui de l'épidémiologie.

La première étude de cette période est celle réalisée par Marzin et al., qui en 1991, suivent la fréquence des crises d'asthme enregistrées par le système d'urgence SOS Médecins de Paris et leurs associations avec les conditions de vie intérieures à l'habitat et avec la pollution atmosphérique extérieure : 701 crises sont recensées du 1^{er} janvier au 30 juin 1989 [23]. Par rapport à une population témoin tirée au sort parmi les autres patients de SOS Médecins, plusieurs facteurs étudiés ne montrent pas d'associations avec la pollution atmosphérique : l'âge, le sexe, la profession, le confort de l'habitat ou la pollution intérieure. Par contre, le risque d'avoir une crise d'asthme est plus élevé dans certaines zones de Paris (nord-est, sud-est) et pour des habitants du rez-de-chaussée et du premier étage, par référence à leurs homologues vivant à des niveaux supérieurs. La fréquence de ces crises est significativement plus élevée les jours à fortes teneurs en ozone et en sulfates particulaires. Aucune liaison n'est cependant observée pour SO₂, FN et NO₂, malgré la survenue d'un épisode de pollution atmosphérique au cours de la période de suivi.

C'est en 1992 que la première phase du

programme ERPURS (Évaluation des risques de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé) est publiée [24-28]. Il s'agit d'une synthèse de la littérature internationale portant sur les effets à court et moyen terme de la pollution atmosphérique sur la santé. Faisant état des connaissances épidémiologiques publiées au cours des années 1980-1991, ce rapport ouvre la voie à un renouveau des préoccupations sanitaires en rapport avec la pollution atmosphérique en soulignant l'intérêt des études temporelles et mettant en évidence l'existence d'effets sanitaires à court terme de la pollution atmosphérique pour des niveaux d'exposition jusqu'alors considérés comme « sans risque ». Ce rapport recommande ainsi la mise en place d'un système de surveillance épidémiologique des risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique, et une étude de faisabilité est lancée la même année sous l'égide de l'Observatoire de santé d'Ile-de-France.

Par ailleurs, devant l'intérêt de pouvoir disposer de connaissances scientifiques actualisées, ce travail de synthèse des connaissances est prolongé par la création du supplément *EXTRAPOL* dans la revue *Pollution Atmosphérique*. Celui-ci permettra ainsi, au cours des années, de diffuser l'information scientifique à des non-spécialistes et de promouvoir une meilleure compréhension de l'épidémiologie comme outil d'évaluation des risques sanitaires, en complément de la toxicologie et de l'expérimentation humaine.

En 1994, Beaudeau et al. mettent en place le premier dispositif de surveillance épidémiologique de l'impact de la pollution atmosphérique dans la région havraise grâce au relevé automatisé, depuis 1992, des ventes de médicaments (antibiotiques, antitussifs et antiasthmatiques) dans deux pharmacies pilotes correspondantes [29]. Ces ventes sont faiblement mais significativement augmentées, avec un délai d'environ une semaine, lors des épisodes de pollution acide. La limite principale de cette étude tient néanmoins à la difficulté de prise en compte des composantes commerciales dans la dynamique des ventes des médicaments.

En 1995, les résultats de l'étude européenne APHEA (*Air Pollution and Health: a European Approach*) sont publiés, pour les deux villes françaises de l'étude, Paris et Lyon, dans la revue *Santé Publique* [30]. Ces résultats, qui estiment à 350 les décès annuels anticipés liés à la pollution atmosphérique urbaine dans ces deux villes, sont repris largement par les médias. Cette date constitue alors le début d'une évolution radicale de la part des pouvoirs publics dans la prise en compte des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique. Jusqu'à cette date, les résultats des études épidémiologiques avaient toujours été considérés avec une grande circonspection et les impacts sanitaires, pour les niveaux de pollution atmosphérique observés, faisaient souvent, de manière plus ou moins explicite, l'objet d'un certain déni. Sous la pression des médias et du corps social, les risques à court terme liés aux niveaux de pollution atmosphérique actuels commencent

à être reconnus. L'enjeu du débat devient alors de savoir si ces risques sanitaires constituent, ou non, un enjeu de santé publique. À partir de cette date, les publications se multiplient. La plupart ont pour objet de confirmer les résultats de 1995. Les autres apportent des éclairages méthodologiques visant à conforter la validité de ces résultats.

Ainsi, en 1996, Dab et al., ainsi que Zmirou et al. publient de manière plus extensive les résultats de l'étude APHEA, pour Paris [31] et Lyon [32]. Cette fois-ci, ces études portent également sur les admissions hospitalières. Ces publications se poursuivent avec Touloumi et al. [33], Sunyer et al. [34], et sont reprises globalement par Quénel et al. [35].

Sur le plan des méthodes, Pirard et al. publient en 1995 un article sur la construction des indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique urbaine [36]. Cette publication est suivie en 1999 par une publication de Zeghnoun et al. [37] qui complète les premiers travaux. En 1998, Le Tertre et al. publient un article sur la méthode d'analyse statistique des données temporelles [38]. Cette publication avait été précédée par celle, moins détaillée, de Dab et al., en 1996 [39].

Au milieu des années 1990-2000, l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique est de mieux en mieux documenté. En 1997, Medina et al. publient les résultats de l'impact de la pollution atmosphérique sur l'activité médicale des visites à domicile [40]. Celui-ci est environ le double de l'activité observée en milieu hospitalier. Hautemanière et al., en 2000, s'intéressent à l'impact sur l'activité médicale du SAMU à Rouen [41]. Segala et al., en 1995, rapportent également des effets de la pollution atmosphérique sur la fonction ventilatoire chez les enfants [42]. Tous ces résultats font l'objet de rapports synthétiques. En 1996, Quénel et al., publient sous l'égide de la Société française de santé publique (SFSP) un rapport intitulé « Dix chantiers prioritaires pour la santé publique : prévenir la pollution atmosphérique » [43]. En 1996, Medina et al. publient dans une revue de l'OMS un article intitulé « *Urban air pollution is still a public health problem in Paris* » [44]. En 1997, Chiron et al., publient un rapport, également sous l'égide de la SFSP, qui fait le point des connaissances scientifiques sur les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique d'origine automobile [45, 46]. C'est en effet à cette époque qu'il est reconnu clairement que des niveaux relativement faibles de polluants, inférieurs aux normes internationales en vigueur, peuvent être reliés à des effets sanitaires en termes de mortalité et de morbidité. Dans le même temps, se fait une prise de conscience de la part croissante de la source automobile « essence » et « diesel », ce qui impose une gestion différente de la qualité de l'air. Par ailleurs, les pointes de pollution hivernales et locales dues au SO₂ et aux poussières, sans avoir totalement disparu de toutes les zones urbaines, tendent à faire place à des smogs d'été, ou à des pollutions plus complexes et diffuses, riches en hydrocarbures, oxydes d'azote, composés

oxydants et très fines particules. Cette nouvelle problématique est reprise en 1996 par un rapport réalisé par le CSHPF intitulé « L'ozone, indicateur de la pollution photochimique en France : évaluation et gestion du risque pour la santé » [47]. Elle est complétée en 1998, par un rapport du Haut Comité de la santé publique [48].

C'est dans ce contexte que la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) votée en 1996 entérine ces résultats et stipule que « (...) l'État est responsable de la surveillance de la qualité de l'air (...) et de ses effets sur la santé (...) ». En 1998, les résultats publiés par Medina et al., concernant la région parisienne, ouvrent la voie de la surveillance épidémiologique [49]. Puis, Quénel et al. mettent en place dans le cadre des missions confiées à l'Institut de veille sanitaire (InVS), un système de surveillance épidémiologique des risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique dans neuf grandes villes françaises (PSAS-9) [50]. Cette approche est également proposée au niveau européen en 1999 par Anderson et al. [51].

En 1999 et 2000, Quénel et al. publient les résultats du PSAS-9 portant sur l'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité ; ceux-ci confirment que la pollution atmosphérique urbaine est bien un problème de santé publique qui concerne (au moins) toutes les villes de plus de 250 000 habitants [52,53]. Ces résultats sont repris de manière plus détaillée et extensive dans de nombreuses publications [54-60]. Après la mortalité, les admissions hospitalières et les visites médicales à domicile, l'intérêt se porte sur l'impact de la pollution atmosphérique sur l'activité des médecins libéraux. En 1998, Maidenberg et al. publient les résultats concernant l'activité médicale d'un réseau de médecins pédiatres (RESPIRER) [61] mais les résultats ne sont pas concluants. En 2000, Eilstein et al. publient également des résultats concernant l'activité d'un réseau de médecins généralistes en Alsace [62, 63]. Tous les résultats de ces études alimentent le rapport publié par Zmirou et al. en 2000 sous l'égide du Haut Comité de la santé publique intitulé « Politiques publiques, pollution atmosphérique et santé : poursuivre la réduction des risques » [64].

Si, à la fin des années 1990, les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique urbaine sont désormais bien documentés, tant sur le plan national qu'international, la question est toujours posée par certains acteurs de savoir si les résultats de ces études sont valides, mais surtout de savoir si les résultats observés sont de nature causale. Cette question qui fait l'objet de nombreuses publications au niveau international est reprise en France par Dab et al. à propos de la problématique des particules [65]. Les auteurs, sur la base des connaissances disponibles, tant épidémiologiques que toxicologiques, concluent à la nature causale de la pollution atmosphérique quant aux impacts sanitaires observés. Cependant, ces questions sont loin d'être fermées et l'Académie des sciences publie, en 1999, un rapport

qui remet fondamentalement en question la validité des résultats mais surtout la nature causale des associations rapportées par les épidémiologistes entre la pollution atmosphérique et la mortalité [66].

C'est également au cours de cette période que la question des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique aborde deux nouveaux aspects. Le premier concerne celui de la prématurité des décès liés à la pollution atmosphérique auquel Quénel et al. apportent des éléments de réponse [67]. Le second concerne les impacts de la pollution atmosphérique sur la pathologie cardiovasculaire. Ceux-ci apparaissent en effet, dans la littérature internationale, comme étant de plus en plus évidents. Une étude menée en France, publiée par Eilstein et al. en 2001, confirme les liens entre la pollution atmosphérique et l'infarctus du myocarde [68]. Cette nouvelle problématique avait fait l'objet, dès 1996, du numéro VI d'*Extrapol* où Quénel et Elichegaray, attirèrent l'attention sur cette question [69].

Fin des années 1990, c'est également la période au cours de laquelle les questions concernant les liens entre la pollution atmosphérique et la maladie asthmatique et l'atopie [70] ou les broncho-pneumopathies chroniques obstructives (BPCO) sont à nouveau discutées [71]. Parallèlement aux études écologiques temporelles, des études de panel sont réalisées dont les résultats sont synthétisés par Desqueyroux et al. [72]. Ils montrent qu'un impact de la pollution atmosphérique urbaine, à des niveaux relativement faibles, est perceptible sur l'état de santé de patients fragilisés bénéficiant pourtant d'un traitement adapté à la sévérité de leur état, surtout les asthmatiques et, à un moindre degré, les insuffisants respiratoires. Les polluants incriminés sont les particules, pour les asthmatiques, et l'ozone, pour les deux groupes de patients. Ainsi, si les liens entre la pollution atmosphérique et le déclenchement des crises d'asthme semblent bien établis comme dans l'étude publiée par Fauroux et al. [73] ou Segala et al. [74], les liens entre la pollution atmosphérique et l'incidence (i.e. le développement) de l'asthme sont encore peu étudiés. Des éléments sont apportés à cette question par Baldi et al. qui, en 1999, publient des résultats à partir d'une réanalyse des données de l'enquête PAARC. [75].

À partir de 1998, la question des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique n'est plus tant de reconnaître la nature de ces effets, de statuer sur la validité et la causalité des résultats observés dans les études épidémiologiques que de mieux cerner l'importance en santé publique de la pollution atmosphérique. Si la question des « pics » de pollution atmosphérique est encore souvent présentée comme constituant le problème, cette analyse est réfutée par Quénel et al. [76] : l'évaluation de l'impact sanitaire doit concerner avant tout la pollution dite de fond. C'est pourquoi, dans le cadre de l'élaboration du volet sanitaire prévu dans les Plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA), Glorennec et al. publient, pour le compte de l'InVS, un guide méthodologique relatif

à l'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique [77, 78].

La quantification de cet impact est réalisée dans plusieurs villes françaises, Caen [79], Rennes [80], Nantes [81]. Pour les auteurs, les résultats justifient de poursuivre les actions permettant de réduire les niveaux d'exposition des populations urbaines à la pollution atmosphérique de fond. Cette justification ne relève pas du principe de précaution mais bien du principe de prévention qui consiste à utiliser les connaissances scientifiques pour protéger la santé de la population. La surveillance épidémiologique, couplée à une évaluation d'impact sanitaire, permet d'objectiver l'existence de risques qui, s'ils sont faibles au niveau individuel, se traduisent néanmoins par un impact non négligeable au niveau collectif.

Depuis 2000

Au début des années 2000, trois questions prédominent, en France, dans le champ de la recherche. D'une part, des travaux sont lancés dans le cadre du programme de recherche PRIMEQUAL-PRÉDIT sur les liens entre la pollution atmosphérique et l'incidence de l'asthme. Il s'agit de l'étude VESTA [82] menée dans le contexte scientifique rappelé par Charpin et al. en 1996 [83]. Une nouvelle voie de recherche s'ouvre également, concernant l'étude de biomarqueurs d'effets de la pollution atmosphérique [84]. La troisième question concerne l'impact sanitaire à long terme de la pollution atmosphérique. Celui-ci est abordé par Ramadour et al. [85], tandis que l'enquête PAARC fait l'objet de nouvelles analyses rendues possibles par la reconstitution de la cohorte initiale.

En 2000, une étude publiée dans le *Lancet* par Künzli et al., estime pour la première fois en France, en Suisse et en Autriche, le nombre de décès attribuable à une exposition chronique (i.e. long terme) aux particules atmosphériques [86]. Les chiffres, qui s'élèvent à plusieurs dizaines de milliers de décès (40 000 décès anticipés par an) sont accueillis avec émotion : trop grande incertitude des données d'incidence française ! trop grande incertitude sur les indicateurs d'exposition à partir d'un modèle suisse ! Quelle validité accorder à l'utilisation de relations exposition-risque établies à partir de cohortes épidémiologiques menées aux États-Unis ? Cette évaluation est accompagnée d'une estimation des coûts économiques de ces impacts sanitaires, estimés à plus de 50 milliards €/an par Sommer et al. [87], faisant suite aux travaux menés en 1999 par Zmirou et al. [88] et par Rabl [89]. Cette double publication jette le trouble dans les cercles des scientifiques et des décideurs et met à nouveau en exergue une situation déjà connue en France : l'absence de véritables enquêtes de cohortes épidémiologiques permettant

de réduire l'incertitude sur les impacts cardio-pulmonaires à long terme de la pollution atmosphérique. En 2000, cette lacune est prise en compte dans le dernier appel à propositions de recherche du programme PRIMEQUAL-PRÉDIT.

Aujourd'hui, ce sont ces impacts à long terme qui sont au cœur des préoccupations sanitaires en rapport avec la pollution atmosphérique ; au niveau européen, l'EIS à long terme fait désormais partie des paramètres de l'évaluation. Ainsi, comme en France, la surveillance épidémiologique et l'EIS se structurent au niveau européen où un dispositif de surveillance épidémiologique est mis en place dans 32 villes d'Europe (APHEIS) [90]. L'EIS, partie intégrante de ce système, est menée en collaboration avec le Centre européen en Santé Environnement et les résultats seront intégrés au programme *Clean Air For Europe* (CAFE), base scientifique pour la Commission européenne pour édicter les futures directives.

Dans le domaine de la pollution atmosphérique, la décennie passée s'est traduite par une forte structuration de la recherche et de l'évaluation des risques pour l'aide à la décision. Dans le champ de la recherche, le programme PRIMEQUAL-PRÉDIT a constitué un moteur et un outil de développement important. Dans le champ de l'évaluation, l'interaction de plusieurs équipes d'épidémiologistes françaises et européennes ainsi que le soutien méthodologique apportée par l'InVS dans le cadre, notamment, de la mise en place des PRQA, se sont traduits par une avancée certaine. Enfin, le décloisonnement des structures, le développement d'une multidisciplinarité, notamment, entre la métrologie, la toxicologie et l'épidémiologie, ont joué un rôle majeur pour la prise en considération des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique.

La France dispose aujourd'hui d'un réseau performant de surveillance de la qualité de l'air, tant du point de vue de la métrologie que de la modélisation. Elle dispose également d'une surveillance épidémiologique des risques sanitaires en milieu urbain. La démarche d'évaluation des risques se développe, contribuant à l'objectivation, à leur juste valeur, des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique et à leur prise en compte dans les politiques publiques, notamment. Il s'agit désormais de renforcer ces différents systèmes de surveillance et d'être capables, via les programmes de recherche, de mieux estimer les impacts à long terme de la pollution atmosphérique.

Remerciements

Les auteurs remercient pour leurs commentaires et remarques le Pr Isabelle Momas, le Dr Françoise Neukirch et le Pr Denis Zmirou.



Références

- [1] Firket J. Fog along the Meuse Valley. *Trans Faraday Soc* 1936 ; 32 : 1192-97.
- [2] Schrenk HH, Heimann H, Clayton GD, Gafafer WM, Wexler H. Air pollution in Donora Pa. *Public Health Bulletin* Washington, 1949 ; 306.
- [3] Chovin P, Roussel A. La pollution atmosphérique. Que sais-je, n° 1330. PUF, Paris, 1968 : 128 p.
- [4] Logan WPD. Mortality in the London fog incident. *Lancet* 1953 ; 9 : 1-52.
- [5] Raymond V. Mortalité et pollution atmosphérique dans la région parisienne. *Revue de l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique* 1960 ; 4 (2) : 381-418.
- [6] Coin L. Communication personnelle.
- [7] Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris. Communication personnelle.
- [8] Tessier JF, Faugere JG, Coudray P, Bernadou M, Serise M, Gachie JP, Freour P. Attempt of correlation between the data on atmospheric pollution in Bordeaux and school absenteeism of children due to broncho-respiratory causes. *Bronchopneumologie* 1976 ; 26 (1) : 30-45.
- [9] Orehek J, Gayraud P, Grimaud C. Effect of brief exposure to low levels of NO₂ on the bronchial sensitivity of asthmatic patients. *Lille Med* 1976 ; 21 (8) : 646-7.
- [10] Perdrizet S, Liard R, Cooreman J. Symptômes respiratoires chez les enfants d'âge scolaire dans 7 zones d'enquêtes françaises. *Arch Fr Pediatr* 1979 ; 36 (9) : 940-8.
- [11] PAARC. Pollution atmosphérique et affections respiratoires chroniques ou à répétition. II Résultats et discussion. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1982 ; 18 : 101-16.
- [12] Loewenstein JC, Bourdel MC, Bertin M. Descriptive analysis of episodes of atmospheric pollution occurring in Paris between 1969 and 1976 and their consequences on daily mortality. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1983 ; 31 (2) : 163-77.
- [13] Loewenstein J-C, Bourdel M-C, Bertin M. Analyse descriptive d'épisodes de pollution atmosphérique survenus à Paris entre 1969 et 1976 et de leurs répercussions sur la mortalité quotidienne. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1983 ; 31 : 163-77.
- [14] Loewenstein J-C, Wolmark Y, Bourdel MC, Maffiolo G, Krainik F, Forette B, Berthaux P. Étude longitudinale de la relation entre conditions environnementales et santé des patients dans un hôpital de long séjour. *Rev Epidemiol Santé Publique* 1985 ; 33 (4-5) : 262-6.
- [15] Kleisbauer JP, Fondarai A, Francheterre A, Charpin D, Dominati F, Fondarai J, et al. Répercussions cliniques et spirométriques d'une exposition chronique aux polluants atmosphériques : étude épidémiologique d'un groupe de femmes au foyer de la région de Gardanne. *Pollution Atmosphérique* Avril-Juin 1987 : 126-9.
- [16] Charpin D, Kleisbauer JP, Lanteaume A, et al. Existe-il un facteur urbain dans l'asthme et l'allergie ? *Rev Mal Respir* 1988 ; 5 : 109-14.
- [17] Boussin G, Cayla F, Giroux M, Carrière I, Fernet P, Pous J. Pollution atmosphérique et pathologie respiratoire aiguë de 1 000 enfants à Toulouse. Intérêt des dérivés particulaires ammoniacaux. *Pollution Atmosphérique* Octobre-Décembre 1989 : 387-96.
- [18] Gervois M, Voisin C, Dubois G, Beuscart R. Difficultés et enseignements des enquêtes épidémiologiques actuelles sur l'influence de la pollution atmosphérique urbaine en pathologie respiratoire aiguë. *Pollution Atmosphérique* Octobre-Décembre 1988 : 395-9.
- [19] Derriennic F, Richardson S, Mollie A, Lellouch J. Short-term effects of sulphur dioxide pollution on mortality in two French cities. *Int J Epidemiol* 1989 ; 18 (1) : 186-97.
- [20] Chailleux E, Guyon C, Taddei F, Bouillard J, Pioche D. Asthma and air pollution. A study of admissions to the Hospital of Saint-Nazaire. *Rev Mal Respir* 1990 ; 7 (6) : 563-8.
- [21] Ballerat G, Etard J-F, Hours M, Pallen C, Fabry J. Étude Air-Santé Rhône Hiver 89-90. Rapport Mars 1991 : 76 p (Université Claude Bernard, Institut d'Épidémiologie).
- [22] Schwartz J, Dockery D. Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *Am J Epidemiol* 1992 ; 135 : 12-20.
- [23] Marzin C, Le Moullec, Ancelle T, Juhel J, Festy B, Pretet S. Urban asthma and habitat. *Rev Mal Respir* 1993 ; 10 (3) : 237-43.
- [24] Lemoullec Y, Medina S, Momas I, Pirard, Quénel P. Effets à court et moyen terme de la pollution atmosphérique sur la santé. Analyse des études épidémiologiques publiées entre 1980 et 1991. Observatoire Régional de Santé d'Ile-de-France. Paris, février 1992 : 74 p. et annexes.
- [25] Quénel P, Le Moullec Y, Medina S, Momas I, Pirard P. Effets à court et moyen terme de la pollution atmosphérique sur la santé. Analyse des études épidémiologiques publiées entre 1980 et 1991. *Travail et Santé* 1992 ; 8 (4) : 1-4.

- [26] Momas I, Pirard P, Quénel P, Medina S, Le Moullec Y, Dab W, Festy B. Pollution atmosphérique et mortalité : une synthèse des études épidémiologiques publiées entre 1980 et 1991. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1993 ; 41 : 30-43.
- [27] Quénel P, Medina S, Momas I, Pirard P, Le Moullec Y, Ferry R, Festy B, Dab W. Impact de la pollution atmosphérique sur la consommation de soins. *Pollution Atmosphérique* 1993 ; 1 : 87-102.
- [28] Quénel P, Medina S, Pirard P, Momas I, Le Moullec Y, Ferry R, Festy B, Dab W. Health service based morbidity indicators as a measure of health effects of air pollution. *European Journal of Public Health* 1994 ; 4 (3) : 201-6.
- [29] Beaudeau P, Bonnati C, Boudhabhay O, Bourderont D, Delmas V, Gayon F, Gesquet J-P, Genet B, Guincetre D, Journel X, Le Roux P, Revillon O, Richet E. De l'usage de la consommation médicamenteuse pour la surveillance des effets sanitaires de la pollution atmosphérique au Havre. *Pollution Atmosphérique* 1994 ; 3 : 133-42.
- [30] Quénel P, Zmirou D, Le Tertre A, Balducci F, Medina S, Barumandzadeh T, Le Moullec Y, Ritter P, Festy B, Dab W. Impact de la pollution atmosphérique urbaine de type acido-particulaire sur la mortalité quotidienne à Lyon et dans l'agglomération parisienne. *Santé Publique* 1995 ; 4 : 363-76.
- [31] Dab W, Medina S, Quénel P, Le Moullec Y, Le Tertre A, Thelot B, Monteil C, Lameloise P, Pirard P, Momas I, Ferry R, Festy B. Short term respiratory health effects of ambient air pollution: results of the APHEA project in Paris. *J Epidemiol Community Health* 1996 ; 50 : S42-S46.
- [32] Zmirou D, Barumandzadeh T, Balducci F, Ritter P, Laham G, Ghilardi JP. Short term effects of air pollution on mortality in the city of Lyon, France, 1985-90. *J Epidemiol Community Health* 1996 ; 50 : S30-S35.
- [33] Touloumi G, Katsouyanni K, Zmirou D, Schwartz J, Spix C, Ponce De Leon A, Tobias A, Quénel P, Rabczenko D, Bacharova L, Bisanti L, Vonk J, Ponka A. Short-term effects of ambient oxidants exposure on mortality : a combined analysis within the APHEA project. *Am J Epidemiol* 1997 ; 146 : 177-85.
- [34] Sunyer J, Spix C, Quénel P, Ponce De Leon A, Ponka A, Barumandzadeh T, Touloumi G, Bacharova L, Wojtyniak B, Vonk J, Bisanti L, Schwartz J, Katsouyanni K. Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA project. *Thorax* 1997 ; 52 : 760-5.
- [35] Quénel P, Zmirou D, Medina S, Le Tertre A, Balducci F, Le Moullec Y, Ritter P, Barumandzadeh T, Dab W. Impact sur la santé de la pollution atmosphérique en milieu urbain : synthèse des résultats de l'étude APHEA (Air Pollution and Health: a European Approach). *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire* 1998 ; 2 : 5-7.
- [36] Pirard P, Quénel P, Lameloise P, Le Moullec Y. Étude de l'utilisation d'une moyenne arithmétique des mesures d'un réseau de surveillance comme indicateur de niveau d'exposition de pollution atmosphérique en milieu urbain. Indice des fumées noires, région parisienne, 1991-1992. *Pollution Atmosphérique* 1995 ; 146 : 59-66.
- [37] Zeghnoun A, Czernichow P, Quénel P, Froment L, Delmas V, Bobia M, Beaudeau P, Mansotte F, Terrier G. Estimation de l'exposition dans les études écologiques temporelles des effets sanitaires de la pollution atmosphérique en milieu urbain. Agglomération rouennaise, 1994-96. *Pollution Atmosphérique* 1999 ; 160 : 135-45.
- [38] Le Tertre A, Quénel P, Medina S, Le Moullec Y, Festy B, Ferry R, Dab W. Modélisation des liens à court terme entre la pollution atmosphérique et la santé. Un exemple : SO₂ et mortalité totale, Paris, 1987-1990. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1998 ; 46 : 316-28.
- [39] Dab W, Medina S, Quénel P, Segala C. Principes des méthodes statistiques utilisées dans le projet APHEA. Supplément *Extrapol VII*. *Pollution Atmosphérique* 1996 ; 150.
- [40] Medina S, Le Tertre A, Quénel P, Le Moullec Y, Lameloise P, Guzzo JC, Festy B, Ferry R, Dab W. Air pollution and doctors' house calls: results from the ERPURS system for monitoring the effects of air pollution on public health in Greater Paris, France, 1991-1995. *Environ Res* 1997 ; 75 : 73-84.
- [41] Hautemanière A, Czernichow P, Germain JM, Delmas V, Falourd JC, Zeghnoun K, Dureuil B. Impact of the daily variations of the air pollution on the ambulatory emergency health services activity. Study in the urban area of Rouen (France). *Rev Epidemiol Sante Publique* 2000 ; 48 (5) : 449-58.
- [42] Segala C, Just J, Fauroux B, Quénel P, Le Moullec Y, Neukirch F. Relationships of low-level sulphur dioxide and black smokes in children : analysis of autocorrelated data (Abstract). *Epidemiology* 1995 ; 6 : S64.

- [43] Quénel P, Dab W, Festy B, Harf R, Jouan M, Mansotte F, Le Moullec Y, Potelon J-L, Zmirou D. Comprendre et vouloir. Dix chantiers prioritaires pour la santé publique : prévenir la pollution atmosphérique. *Santé et Société* 1996 ; 3 : 147-62.
- [44] Medina S, Dab W, Quénel P, Ferry R, Festy B. Urban air pollution is still a public health problem in Paris. *World Health Forum* 1996 ; 17 : 187-93.
- [45] Chiron M, Quénel P, Zmirou D. La pollution d'origine automobile et la santé publique. *Pollution Atmosphérique* 1997, 153 : 41-55.
- [46] Chiron M, Donati J, Festy B, Quénel P, Zmirou D, Auburtin G, Bignon J, Deloraine A, Elichegaray C, Gonnet J-F, Jouan M, Lafon D, Le Moullec Y, Medina S, Momas I, Pichard A, Stroebel R, Wallaert B. La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique : bilan de 15 ans de recherche internationale. Société Française de Santé Publique. Collection Santé et Société 1996 ; 4 : 251 p. et annexes.
- [47] CSHPF. L'ozone, indicateur de la pollution photochimique en France : évaluation et gestion du risque pour la santé. Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Lavoisier, Paris, 1996 ; 164 p.
- [48] Haut Comité de la Santé Publique. La santé en France : 1994-1998 (Quénel P. Les déterminants liés à l'environnement physique et au travail). Ministère de l'Emploi et de la Solidarité. Documentation Française, Paris, décembre 1998 : 309 p.
- [49] Medina S, Quénel P, Le Tertre A, Dusseux E, Boumghar A, Camard JP, Le Moullec Y, Lameloise P, Momas I, Ferry R, Festy B, Dab W. ERPURS: an epidemiological surveillance system of air pollution in Paris region (Abstract). *Epidemiology* 1998 ; 9 : S62.
- [50] Quénel P, Le Goaster C, Cassadou S, Eilstein D, Filleul L, Pascal L, Prouvost H, Saviuc P, Zeghnoun A, Le Tertre A, Medina S, Jouan M. Surveillance des effets sur la santé de la pollution atmosphérique en milieu urbain : étude de faisabilité dans 9 villes françaises. Objectifs et principes. *Pollution Atmosphérique* 1997 ; 156 : 88-95.
- [51] Anderson R, Quénel P, Katsouyanni K, Vigotti MA, Sunyer J, Schouten JP, Wojtyniak B, Zmirou D, Batcharova L, Ponka A, Wichmann E. Recommendations for the monitoring of short-term health effects of air pollution: lessons from the APHEA multicentre European study. *International Journal of Hygiene and Environmental Medicine* 1999 ; 202 : 471-88.
- [52] Quénel P, Cassadou S, Declercq C, Eilstein D, Filleul L, Le Goaster C, Le Tertre A, Medina S, Pascal L, Prouvost H, Saviuc P, Zeghnoun A. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. Institut de Veille Sanitaire. Saint-Maurice, mars 1999 : 148 p.
- [53] Quénel P, Le Tertre A, Eilstein D, Zeghnoun A, Filleul L, Saviuc P, Prouvost H, Cassadou S, Pascal L, Declercq C, Medina S, Le Goaster C. Effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité : résultats d'une analyse combinée réalisée dans 9 villes françaises (Résumé). *Rev Epidemiol Sante Publique* 2000 ; 48 : S81-S82.
- [54] Prouvost H, Le Goaster C, Medina S, Declercq C, Filleul L, Pascal L, Saviuc P, Zeghnoun A, Eilstein D, Cassadou S, Le Tertre A, Quénel P. Surveillance épidémiologique des effets sur la santé de la pollution atmosphérique urbaine : étude de faisabilité. *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire* 2000 ; 28 : 119-21.
- [55] Cassadou S, Pascal L, Prouvost H, Declercq C, Saviuc P, Filleul L, Medina S, Eilstein D, Le Tertre A, Le Goaster C, Zeghnoun A, Quénel P. Effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la santé dans neuf villes françaises : pertinence et faisabilité d'un système de surveillance épidémiologique. *Santé Publique* 2000 ; 12 (3) : 329-41.
- [56] Saviuc P, Pascal L, Filleul L, Cassadou S, Medina S, Le Tertre A, Le Goaster C, Prouvost H, Zeghnoun A, Declercq C, Eilstein D, Quénel P. Pollution atmosphérique : une augmentation du risque de décès. *Rev Prat - Médecine générale* 2000 ; 516 : 2033-6.
- [57] Zeghnoun A, Eilstein D, Saviuc P, Filleul L, Le Goaster C, Cassadou S, Boumghar A, Pascal L, Medina S, Prouvost H, Le Tertre A, Declercq C, Quénel P. Surveillance des effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité en milieu urbain : résultats de l'étude de faisabilité dans 9 villes françaises. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2001 ; 49 : 3-12.
- [58] Zeghnoun A, Czernichow P, Beaudeau P, Hautemanière A, Froment L, Le Tertre A, Quénel P. Short-term effects of air pollution on mortality in the cities of Rouen and Le Havre, France, 1990-95. *Arch Environ Health* 2001 ; 56 (4) : 327-35.
- [59] Filleul L, Zeghnoun A, Declercq C, Le Goaster C, Le Tertre A, Eilstein D, Medina S, Saviuc P, Prouvost H, Cassadou S, Pascal L, Quénel P. Relations à court terme entre la pollution atmosphérique urbaine et la mortalité respiratoire : la place des études temporelles. *Rev Mal Respir* 2001 ; 18 : 387-95.
- [60] Le Tertre A, Quénel P, Eilstein D, Medina S, Prouvost H, Pascal L, Boumghar A, Saviuc P, Zeghnoun A, Filleul L, Declercq C, Cassadou S, Le Goaster C. Short term effects of air pollution on mortality in nine French cities: a quantitative summary. *Arch Environ Health* 2002 ; 57 (4) : 311-9.

- [61] Maidenberg M, Costa M, Sznajder M, Medina S, Le Tertre A, Boumghar A, Dusseux E, Quénel P, Camard J-P. Pollution atmosphérique urbaine et symptômes respiratoires chez l'enfant. Conclusion de l'étude de faisabilité : juillet 1996-juin 1997. *RESPIRER*, Paris, mars 1998 : 56 p. et annexes.
- [62] Eilstein D, Hugel F, Michel C, Target A, Kleinteper J, Bertrand A, Bouvier F, Engel F, Quénel P, Le Tertre A. Etude RAMSES I. Investigation sur les relations entre la pollution atmosphérique et la survenue de symptômes cliniques recueillis par le Réseau Alsace des Médecins pour la Surveillance des relations entre l'Environnement et la Santé en 1996 et 1997. Groupe Régional pour l'information sur l'Environnement et la Santé des médecins d'Alsace (GRES Alsace). Strasbourg, juin 1999 : 57 p. et annexes.
- [63] Eilstein D, Hugel F, Michel C, Quénel P, Le Tertre A, Hédelin G, Schaffer P, Kleinteper J, Target A. Pollution atmosphérique : son impact sur l'activité en soins primaires. *Rev Prat - Médecine générale* 2000 ; 516 : 2059-62.
- [64] Zmirou D, Aubier M, Bonnaud F, Charpin D, de Blay de Gaix F, Geiger P, Goldberg M, Grzegorzulka O, Koppel A, Lameloise P, Masse R, Momas I, Potelon J-L, Quénel P, Roussel I. Politiques publiques, pollution atmosphérique et santé : poursuivre la réduction des risques. Rapport du Haut Comité de la Santé Publique. Editions ENSP, Rennes, juillet 2000 : 266 p.
- [65] Dab W, Segala C, Dor F, Festy B, Lameloise P, Le Moullec Y, Le Tertre A, Medina S, Quénel P, Wallaert B, Zmirou D. Air pollution and health : correlation or causality ? The case of the relationship between exposure to particles and cardiopulmonary mortality. *J Air Waste Manage Assoc* 2001 ; 51 : 220-35.
- [66] Pollution atmosphérique due aux transports. Académie des sciences 1999 : 181 p.
- [67] Quénel P, Zmirou D, Dab W, Le Tertre A, Medina S. Premature deaths and long-term mortality effects of air pollution (Letter). *Int J Epidemiol* 1999 ; 27 : 362.
- [68] Eilstein D, Quénel P, Hédelin G, Kleinpeter J, Arveiler D, Schaffer P. Pollution atmosphérique et infarctus du myocarde : Strasbourg, 1984-1989. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2001 ; 49 : 13-25.
- [69] Quénel P, Elichegaray C. Pollutions atmosphériques et affections cardiovasculaires (Éditorial). Supplément *Extrapol VI. Pollution Atmosphérique* 1996 ; 149 : I-II.
- [70] Charpin D, Pascal L, Birnbaum J, Armengaud A, Sambuc R, Lanteaume A, Vervloet D. Gaseous air pollution and atopy. *Clin Exp Allergy* 1999 ; 29 (11) : 1474-80.
- [71] Desqueyroux H, Momas I. Pollution atmosphérique et santé : une synthèse des études épidémiologiques dites de panel publiées de 1987 à 1998. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1999 ; 47 : 361-75.
- [72] Desqueyroux H, Momas I. Impact à court terme de la pollution atmosphérique urbaine sur l'insuffisance respiratoire par bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) : synthèse des études publiées de 1962 à janvier 2000. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2001 ; 49 : 61-76.
- [73] Fauroux B, Sampil M, Quénel P, Le Moullec Y. Ozone: a trigger for hospital pediatric asthma emergency room visits. *Pediatr Pulmonol* 2000 ; 30 : 41-6.
- [74] Segala C, Fauroux B, Just J, Pascual L, Grimfeld A, Neukirch F. Short-term effect of winter air pollution on respiratory health of asthmatic children in Paris. *Eur Respir J* 1998 11 (3) : 677-85.
- [75] Baldi I, Tessier JF, Kauffmann F, Jacqmin-Gadda H, Nejjari C, Salamon R. Prevalence of asthma and mean levels of air pollution: results from the French PAARC survey. *Pollution Atmosphérique et Affections Respiratoires Chroniques. Eur Respir J* 1999 ; 14 (1) : 132-8.
- [76] Quénel P, Le Goaster C, Le Tertre A, Medina S, Cassadou S, Eilstein D, Filleul L, Prouvost H, Pascal L, Saviuc P, Zeghnoun A, Bateau A, Chaud P, Glorennec P, Schvoerer C, Illef D, Robaux C, Fabres B, Tramoní M-C, Armengaud A, Lassalle J-L, Duchon C, Hemery C. Pics de pollution atmosphérique et santé publique : la place de l'épidémiologie. Réseau National de Santé Publique. Saint-Maurice, mars 1998 ; 16 p.
- [77] Glorennec P, Quénel P, Cassadou S, Eilstein D, Filleul L, Saviuc P, Zeghnoun A, Fabres B, Boudet C, Zmirou D, Grall B, Piriou B, Boutet C, Noury L. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique : une démarche d'analyse de risque pour les plans régionaux de la qualité de l'air. Réseau National de Santé Publique, Saint-Maurice, juin 1998 ; 16 p.
- [78] Glorennec P, Quénel P, Noury L, Cassadou S, Eilstein D, Filleul L, Kaiser R, Le Goaster C, Le Tertre A, Medina S, Pascal L, Prouvost H, Saviuc P, Zeghnoun A, Declercq C, Fabres B, Lassalle J-L, Subileau B, Toxé M, Dondon J, Baudinat C, Thirouin I, Carrié L. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : guide méthodologique. Institut de Veille Sanitaire, Saint-Maurice, juillet 1999 ; 48 p.

- [79] Glorennec P, Nourry L, Goguet J-P, Flambart C, Lecarpentier G, Boutet C, Quénel P, d'Alche-Gautier M-J, Bigot I, Paris M. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération caennaise. Cellule Inter Régionale Épidémiologie Ouest. Rennes, mars 1999 : 26 p. et annexes.
- [80] Glorennec P, Nourry L, Corron M, Hayart M, Quénel P, Burgun A, Jougla P, Toxé M, Subileau B. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération rennaise. Cellule Inter Régionale d'Épidémiologie Ouest. Rennes, avril 1999 : 26 p. et annexes.
- [81] Glorennec P, Nourry L, Bellanger C, Lavrilleux L, Lecluse C, Quénel P, Antonioni D, Jougla P, Massinon V, Piriou B. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération nantaise. Cellule Inter Régionale d'Épidémiologie Ouest. Rennes, août 1999 : 28 p. et annexes.
- [82] Gauvin S, Le Moullec Y, Bremont F, Momas I, Balducci F, Ciognard F, Poilve MP, Zmirou D. Relationships between nitrogen dioxide personal exposure and ambient air monitoring measurements among children in three French metropolitan areas: VESTA study. *Arch Environ Health* 2001 ; 56 (4) : 336-41.
- [83] Charpin D, Vervloet D. Role of atmospheric pollutants in asthma. *Rev Pneumol Clin* 1996 ; 52 (2) : 70-8.
- [84] Bernard N, Saintot M, Astre C, Gerber M. Personal exposure to nitrogen dioxide pollution and effect on plasma antioxidants. *Arch Environ Health* 1998 ; 53 (2) : 122-8.
- [85] Ramadour M, Burel C, Lanteaume A, Vervloet D, Charpin D, Brisse F, Dutau H, Charpin D. Prevalence of asthma and rhinitis in relation to long-term exposure to gaseous air pollutants. *Allergy* 2000; 55 (12) : 1163-9.
- [86] Künzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, Herry M, Horak F Jr, Puybonnieux-Textier V, Quénel P, Schneider J, Seethaler R, Vergnaud JC, Sommer H. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 2000 ; 35 (9232) : 795-801.
- [87] Sommer H, Künzli N, Seethaler R, Chanel O, Herry M, Masson S, Vergnaud JC, Filliger P, Horak F Jr, Kaiser R, Medina S, Puybonnieux-Textier V, Quénel P, Schneider J, Studnicka M. Economic Evaluation of Health Impacts due to Road Traffic-related Air Pollution: an impact assessment project of Austria, France and Switzerland. Expert Workshop on Assessing the Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation Strategies. Washington, DC, 27-29 March 2000.
- [88] Zmirou D, Deloraine A, Balducci F, Boudet C, Dechenaux J. Health effects costs of particulate air pollution. *J Occup Environ Med* 1999; 41(10): 847-56.
- [89] Rabl A. Les bénéfices sanitaires d'une amélioration de la qualité de l'air en Ile-de-France. *Pollution Atmosphérique* 1999 ; 161: 83-94.
- [90] Medina S, Plasència A, Artazcoz L, Quénel P, Katsouyanni K, Mücke HG, De Saeger E, Krzyzanowsky M, Schwartz J, and the contributing members of the APHEIS group. APHEIS Monitoring the Effects of Air Pollution on Public Health in Europe. Scientific report, 1999-2000. Institut de Veille Sanitaire, Saint-Maurice, March 2001 : 145 p.