

PRÉFECTURE
D'ÎLE-DE-FRANCE

RÉGION
D'ÎLE-DE-FRANCE

Observatoire régional de santé d'Île-de-France

Erpurs

Exploration de la différence de sensibilité à la pollution atmosphérique
chez les hommes et les femmes.

Hospitalisations pour causes respiratoires, Paris et proche couronne,
2000-2003

Etude réalisée par
Denis GRANADOS, interne de santé publique,
Benoît CHARDON et Agnès LEFRANC, chargés d'études,
sous la direction d'Isabelle GREMY, directrice

Cette étude n'aurait pas été réalisée sans le soutien :

- *du comité scientifique :*
 - Les Drs. Daniel EILSTEIN et Sylvia MEDINA, M. Alain LE TERTRE – Institut de veille sanitaire (InVS),
 - Le Pr. Bernard FESTY – Association pour la prévention de la pollution atmosphérique (APPA),
 - M. Philippe LAMELOISE – Airparif,
 - M. Yvon LE MOULLEC – Laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris (LHVP),
 - Le Dr. Josiane HOLSTEIN – Assistance Publique - Hôpitaux de Paris,
 - Le Dr. Claire SEGALA – SEPIA-Santé,
 - Le Pr. Isabelle MOMAS – Faculté de médecine de Paris V ;

- *des organismes partenaires qui mettent à disposition leurs données :*
 - Les Drs. Jean-Marie COHEN et Anne MANTEL-MOSNIER – Groupes régionaux d'observation de la grippe (GROG)-OpenRome,
 - Le Dr. Josiane HOLSTEIN – Assistance Publique - Hôpitaux de Paris,
 - M. Denis FOURGASSIÉ – Météo-France, CIDM Paris-Montsouris,
 - Le Dr. Jean-Charles GUZZO – SOS-médecins Paris,
 - M. Philippe LAMELOISE – Airparif,
 - M. Michel THIBEAUDON – Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA) ;

- *et du soutien financier du Conseil régional d'Île-de-France.*

Que tous soient ici vivement remerciés pour leur concours.

Sommaire

Introduction	5
Contexte	7
Objectifs	10
Matériel et méthode	11
Zone d'étude.....	13
Indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique.....	15
Indicateurs sanitaires	19
Les facteurs de confusion.....	25
Analyse statistique et modélisation	29
Résultats.....	31
Analyse descriptive des causes d'hospitalisation selon le sexe.....	33
Liens à court terme entre les niveaux des indicateurs de pollution et le risque d'hospitalisation pour causes respiratoires	37
Discussion.....	43
Des liens significatifs tous sexes confondus	45
Les résultats obtenus diffèrent qualitativement selon le sexe	47
Références	53
Annexes	61

Introduction

Contexte

Il existe une tendance mondiale à la prise en compte par les gouvernements des besoins spécifiques des femmes dans la mise en place des politiques de développement des pays. Cette prise de conscience s'est traduite par la création du programme de la quatrième conférence des Nations unies sur les femmes, adopté à Beijing en 1995 par plus de 180 états et gouvernements [The United Nations, 1995].

L'engagement pris à Beijing par les pays européens s'est traduit en 1999 par la mise en place, au sein de la Commission des communautés européennes, d'une stratégie appelée « approche intégrée de l'égalité » (AIE) ou *gender mainstreaming*. L'objectif est la création d'une société juste et équitable envers les hommes et les femmes, proposant à chacun les mêmes droits et les mêmes chances. Cette équité doit se retrouver dans tous les domaines de la société et, entre autres dans le domaine social et sanitaire. Dans le domaine de la santé environnementale, la nécessité d'une analyse approfondie des questions d'environnement à partir d'une *approche par sexe* et le besoin d'actions concrètes visant à incorporer cette perspective dans les politiques environnementales ont été définis et présentés dans le rapport annuel de la commission en 2002 [CCE 2002].

La physiologie et les pathologies de l'appareil respiratoire diffèrent selon le sexe

Deux revues de la littérature portent sur les différences selon le sexe dans le domaine des pathologies respiratoires [Becklake 1999, Caracta 2003]. Becklake (1999) différencie la part de responsabilité des déterminants biologiques liés au sexe et la part des déterminants environnementaux et socioculturels liés au genre dans l'apparition des pathologies respiratoires. Ainsi, les déterminants biologiques liés au sexe qui peuvent intervenir dans l'apparition des pathologies respiratoires sont notamment :

- la taille des voies respiratoires, des études morphologiques et physiologiques ayant montré que les femmes ont des poumons de plus petite taille que les hommes ;
- le système immunitaire, et notamment les éléments impliqués dans les réactions allergiques, des différences entre sexes ayant été mises en évidence par des tests de

réactivité cutané et des dosages sanguins d'immunoglobulines E (immunoglobulines spécifiques des réactions allergiques) ;

- le système hormonal.

En outre, chez les femmes, les déterminants biologiques sont eux-mêmes liés au fonctionnement du système hormonal (cycles menstruels, ménopause) et donc à l'âge considéré.

Les déterminants environnementaux et socioculturels diffèrent selon le lieu, le degré d'industrialisation et d'urbanisation du milieu de vie, mais aussi selon le sexe, comme par exemple :

- le tabagisme, dont la prévalence est inégale et évolue différemment selon le sexe ;
- l'exposition aux produits irritants. Chez les femmes il s'agit principalement des expositions aux détergents, solvants à usage domestique et cosmétiques, tandis que chez les hommes il s'agit plutôt des expositions professionnelles.

Il a aussi été mis en évidence une interaction entre les déterminants biologiques et socioculturels dans l'expression clinique des maladies respiratoires. Cette interaction se traduit par des différences entre sexes dans la perception, l'expression et l'interprétation des symptômes des pathologies respiratoires. Par exemple, les femmes rapportent moins la gêne associée à un essoufflement comparées à des hommes présentant le même syndrome obstructif.

Becklake (1999) et Caracta (2003) ont également recensé les différences liées au genre existant dans les manifestations des pathologies respiratoires obstructives, notamment asthme et broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) :

- l'hyper-réactivité bronchique présente une prévalence plus élevée chez la femme adulte, et un lien avec les cycles hormonaux a été mis en évidence ;
- les femmes, avant l'âge de la ménopause, présentent une plus forte prévalence de l'asthme que les hommes. Ce phénomène s'inverse par la suite. Les femmes asthmatiques rapportent 40% de leurs crises d'asthme en période prémenstruelle. Le traitement hormonal substitutif semble avoir un effet sur l'asthme présent chez les femmes ménopausées ;

- les BPCO sont plus fréquentes chez les hommes que chez les femmes. Cependant l'augmentation de la consommation de tabac par les femmes et leur plus forte sensibilité à ses composants augmentent le nombre de cas de BPCO parmi celles-ci. Cette augmentation de la consommation féminine est récente, elle se retrouve d'avantage chez les jeunes et diminue la différence de consommation qui subsiste chez les adultes entre les deux sexes. En outre, l'exposition aux irritants est un facteur de risque reconnu de la BPCO, or les expositions professionnelles aux irritants augmentent également chez les femmes.

Ces différences entre sexes, concernant tant la physiologie de l'appareil respiratoire que les pathologies qui peuvent l'affecter, pourraient entraîner des différences de sensibilité vis-à-vis de la pollution atmosphérique. En effet, parmi les effets recensés de la pollution atmosphérique, un nombre important concerne l'appareil respiratoire.

Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé ont déjà été analysés par sexe au moyen d'études épidémiologiques [pour une revue, voir Annesi-Maesano 2003]. Cependant les résultats de ces études ne permettent pas a priori de conclure à l'existence ou non d'une différence selon le sexe quant aux effets à court et à long terme de la pollution atmosphérique sur la santé. A ce jour, aucune étude épidémiologique n'a été menée en Île-de-France afin de rechercher une éventuelle différence de sensibilité vis-à-vis de la pollution atmosphérique selon le sexe.

Objectifs

Le programme Erpurs (Évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé) mené par l'Observatoire régional de santé d'Île-de-France a été mis en place suite aux épisodes de pollution atmosphérique survenus pendant l'hiver 1989 en Île-de-France. Parmi les objectifs de ce programme figurent la quantification des liens existant à court terme entre les niveaux de pollution atmosphérique couramment rencontrés dans la région et l'état de santé de la population.

Dans ce but, des analyses écologiques temporelles rétrospectives sont mises en œuvre. Le principe de ces analyses est de relier les variations temporelles à court terme (d'un jour à l'autre) d'un indicateur de l'état de santé d'une population à celles des indicateurs d'exposition de cette population à la pollution atmosphérique. Les premiers résultats obtenus au moyen de cette méthode ont permis de mettre en évidence l'existence d'un lien significatif entre les niveaux de pollution atmosphérique et différents indicateurs sanitaires à Paris et en proche couronne. A partir de ces analyses répétées, il a été possible de réaliser une surveillance épidémiologique de la pollution atmosphérique [Medina 1994 et 1998, Campagna 2003, Chardon 2005].

Jusqu'à présent, les données analysées et les risques relatifs rendant compte des effets sanitaires de la pollution atmosphérique concernaient la totalité de la population, avec parfois des distinctions selon l'âge, mais sans aucune distinction de sexe. Il semblait donc intéressant de mener une étude visant à déterminer une éventuelle différence de sensibilité selon le sexe vis-à-vis de la pollution atmosphérique.

Ainsi, cette analyse différenciée selon le sexe porte sur l'étude de la relation à court terme entre la pollution atmosphérique et les hospitalisations pour causes respiratoires chez les personnes âgées de plus de 15 ans, à Paris et en proche couronne, sur la période 2000-2003.

Matériel et méthode

Cette étude a pour objectif de mettre en évidence une éventuelle différence de sensibilité entre les hommes et les femmes face à la pollution atmosphérique. Pour ce faire, la relation entre les niveaux journaliers de pollution atmosphérique et le nombre journalier d'hospitalisations pour causes respiratoires chez les plus de 15 ans à Paris et en proche couronne entre 2000 et 2003 a été étudiée. Trois indicateurs sanitaires ont ainsi été analysés pour cette étude : le nombre d'hospitalisations pour causes respiratoires tous sexes confondus et le nombre d'hospitalisations pour causes respiratoires pour chaque sexe. Ces indicateurs sanitaires ont été mis en relation avec les niveaux de deux indicateurs de pollution : le dioxyde d'azote (NO_2) et les particules en suspension dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres (PM_{10}). Pour estimer les effets à court terme de la pollution atmosphérique, des méthodes d'analyse de séries temporelles ont été employées.

Tableau I : Répartition des communes de l'Île-de-France, de leur superficie et de leur population, en fonction de leur appartenance à la zone d'étude et à l'agglomération* parisienne.

	Nombre de communes	Superficie (km ²)	Population (en milliers)
Zone d'étude (Paris et les trois départements de proche couronne : Hauts-de-Seine, Seine-Saint- Denis et Val-de-Marne)	124	762,2	6 164,2
Agglomération hors zone d'étude	272	1 960,9	3 480,5
Total agglomération parisienne	396	2 723,1	9 644,7
Total Île-de-France	1281	12 012,3	10 952,0

* L'agglomération est définie par l'INSEE comme un ensemble d'habitations telle qu'aucune ne soit séparée de la plus proche de plus de 200 mètres, et abritant au moins 2000 habitants.

Source : INSEE, 1999

Zone d'étude

La zone d'étude est composée de Paris et des trois départements de la proche couronne : Seine-Saint-Denis, Hauts-de-Seine, Val-de-Marne. Cette zone de recueil des données de pollution et des données de morbidité a été définie afin de proposer un recouvrement géographique cohérent entre les indicateurs de pollution mesurés et les indicateurs de morbidité hospitalière issus de l'Assistance publique des hôpitaux de Paris (AP-HP).

La zone d'étude représente le cœur dense et urbanisé de l'Île-de-France. Paris et la proche couronne représentent moins d'un tiers des communes de l'agglomération et moins d'un dixième des communes de la région. Cependant, près de 64% de la population de l'agglomération et 56% des Franciliens habitent à Paris et en proche couronne. La répartition des communes de l'Île-de-France, de leur superficie et de leur population, selon leur appartenance à l'agglomération parisienne et à la zone d'étude est présentée dans le Tableau I.

Parmi les personnes actives habitant et/ou travaillant à Paris et en proche couronne, 69,2% y habitent et y travaillent. Seuls 9,3% des personnes y habitant travaillent ailleurs, tandis que 25,4% des personnes y travaillant habitent en dehors de cette zone (INSEE 1999).

Tableau II : Stations de mesure prises en compte pour la construction de l'indicateur d'exposition aux PM₁₀

Période	Nombre de stations	Stations
De janvier 2000 à décembre 2001	7	Vitry-sur-Seine, Bobigny, Gennevilliers, Tremblay-en-France, Issy-les-Moulineaux, Paris XII et Paris XVIII
De janvier 2002 à décembre 2003	9	Les 7 précédentes + Paris I et La Défense

Tableau III : Stations de mesure prises en compte pour la construction de l'indicateur d'exposition au NO₂

Période	Nombre de stations	Stations
De janvier à mars 2000	12	Vitry-sur-Seine, Bobigny, Neuilly-sur-Seine, Tremblay-en-France, Issy-les-Moulineaux, Saint-Denis, Aubervilliers, Garches, Paris VI, Paris XII, Paris XIII et Paris XVIII
D'avril 2000 à mai 2001	15	Les 12 précédentes + Cachan, Gennevilliers, et Ivry-sur-Seine
De juin 2001 à décembre 2003	14	Suppression d'Aubervilliers et de Paris VI, ajout de Paris I

Source : Airparif ; Exploitation : ORS Île-de-France

Indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique

Les données de pollution atmosphérique ont été obtenues auprès de l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air Airparif, qui gère le réseau de mesure de la qualité de l'air en Île-de-France. Les polluants retenus pour cette étude sont les particules en suspension de diamètre inférieur à 10 μm (PM_{10}) et le dioxyde d'azote (NO_2).

Les mesures réalisées par les stations de fond du réseau Airparif sont utilisées pour estimer l'exposition moyenne de la population à la pollution atmosphérique. La construction d'un indicateur d'exposition unique pour l'ensemble de la zone d'étude à partir de ces mesures suppose que les variations d'un jour à l'autre des niveaux mesurés par ces stations sont représentatives des variations d'un jour à l'autre de la moyenne des expositions individuelles au sein de la zone étudiée. Les stations de fond sont situées à distance des sources importantes de pollution atmosphérique (axes routiers, zones industrielles,...). Il a été vérifié que les niveaux des indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique enregistrés par les stations de fond du réseau Airparif situées à l'intérieur de la zone d'étude sont relativement homogènes et corrélés (Annexe 1).

Les particules en suspension sont majoritairement issues de l'activité humaine et sont générées par les combustions industrielles, le chauffage, l'incinération, l'usure et la circulation automobile. Une partie de ces particules peut être remise en suspension par le vent ou par le trafic. Les particules sont constituées d'un mélange complexe de substances organiques et minérales en suspension dans l'air. Les niveaux de PM_{10} sont soumis à des limites réglementaires au niveau européen. Ils sont donc mesurés en routine et font partie des indicateurs de pollution particulaire couramment utilisés pour l'analyse des effets sanitaires de la pollution atmosphérique. Dans la zone d'étude, les PM_{10} sont mesurés dans l'air ambiant (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) par microbalance à élément effilé oscillant (TEOM).

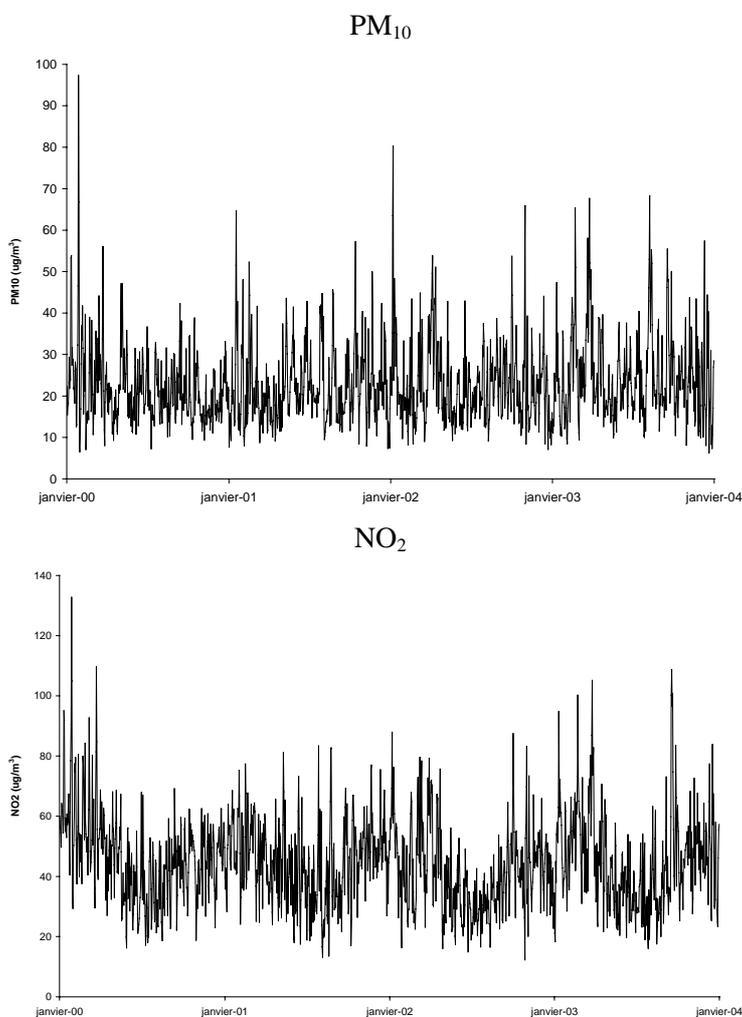
Le dioxyde d'azote (NO_2) est issu de l'oxydation du monoxyde d'azote (NO). Les oxydes d'azote (NO_x) proviennent essentiellement des véhicules et des installations de combustion. L'utilisation de pots catalytiques ces dernières années a cependant réduit les émissions par les moteurs des véhicules. Le niveau de concentration du NO_2 dans l'atmosphère (mesuré en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) est évalué par chimiluminescence.

Le Tableau II et le Tableau III présentent les stations de mesure prises en compte pour la construction des indicateurs d'exposition.

Tableau IV : Description des indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique

Variables	Minimum	P ₅ ^(*)	Moyenne	Médiane	P ₉₅ ^(*)	Maximum	Ecart-type
PM ₁₀ (µg/m ³)	6,3	11,23	23	21,0	41,8	97,6	9,9
NO ₂ (µg/m ³)	12,3	23,2	44,4	43,6	69,7	132,8	14,9

(*) 5^{ème} et 95^{ème} percentile

Figure 1 : Séries temporelles des niveaux de PM₁₀ et de NO₂ (µg/m³) à Paris et en proche couronne sur la période 2000-2003

Source : Airparif ; Exploitation : ORS Île-de-France

Les concentrations de PM_{10} et de NO_2 sont mesurées sous forme de valeurs horaires dans chaque station. L'indicateur journalier d'exposition est la moyenne arithmétique des moyennes journalières de chaque station. Lorsqu'une station de mesure présente plus de 25% de moyennes horaires manquantes, la valeur journalière correspondante est considérée comme valeur manquante.

Le remplacement des valeurs manquantes par station se fait en fonction de la durée des plages de données manquantes. Si elles sont inférieures à quinze jours, les valeurs manquantes sont remplacées par la méthode des moyennes saisonnières. Lorsque la plage est supérieure à 15 jours, une régression linéaire est effectuée à partir des données disponibles sur les autres stations pour la même période [Quénel 1999]. Les coefficients de corrélation obtenus pour les mesures de PM_{10} et de NO_2 entre les différentes stations ont des valeurs minimales respectivement de 0,88 et 0,61 (Annexe 1).

Le Tableau IV présente les statistiques descriptives des deux indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique à Paris et en proche couronne sur la période 2000-2003. La figure 1 présente les deux séries temporelles obtenues. Le coefficient de corrélation entre les deux séries est de 0,67.

Tableau V : Parcours des informations médicales au sein du Programme de médicalisation du système d'information

Production et traitement de l'information	
RUM	
Résumé d'unité médicale	Produit à la fin de tout séjour effectué dans une unité médicale
<hr/>	
RSS	
Résumé de sortie standardisé	Produit à la fin de toute hospitalisation
	Chaque RSS regroupe l'ensemble des RUM concernant un patient au cours d'une même hospitalisation, quelles que soient les unités médicales fréquentées au cours de celle-ci
	Les RSS sont élaborés au sein des Départements d'informatique médicale (DIM) de chaque hôpital
	Pour l'AP-HP, la Délégation à l'information médicale et à l'épidémiologie centralise l'ensemble des RSS
<hr/>	
RSA	
Résumé de sortie anonyme	Produits par les DIM et centralisés par les Directions régionales des affaires sanitaires et sociales

Tableau VI : Comparaison des informations contenues dans le RSS (Résumé de sortie standardisé) et le RSA (Résumé de sortie anonyme), seules les informations pertinentes dans le cadre de la présente étude figurent dans ce tableau

RSS	RSA
Composé d'autant de Résumés d'unité médicale que d'unités fréquentées par le malade	Un enregistrement unique par séjour
Numéro du RSS	Pas de numéro
Numéros des unités médicales fréquentées par ordre chronologique	Nombre d'unités médicales fréquentées
Date de naissance	Age
Sexe	Sexe
Code postal de la commune de résidence	Code géographique
Dates d'entrée et de sortie	Durée du séjour, mois et année de sortie
Diagnostic principal par unité	Diagnostic principal par séjour

Indicateurs sanitaires

Le Programme de médicalisation du système d'information

Dans le cadre du Programme de médicalisation du système d'information (PMSI), chaque unité médicale accueillant un patient au cours de son séjour hospitalier code, à la fin de son passage dans l'unité, un résumé d'unité médicale (RUM) contenant des informations médico-administratives standardisées. La partie administrative comprend, entre autres, la date de naissance et le sexe du patient, le code postal de la commune de résidence, ainsi que la date et le mode d'entrée et de sortie dans l'unité médicale. La partie médicale comprend, entre autres, un diagnostic principal (DP) correspondant au diagnostic qui a mobilisé le plus de ressources médicales et, le cas échéant, un ou plusieurs diagnostics associés (DA) correspondant aux affections associées au diagnostic principal, aux complications, aux antécédents ou aux traitements liés à celui-ci [Barjou 1996].

Le codage de ces diagnostics est établi à partir de la Classification internationale des maladies, 10^{ème} révision (CIM-10). A la fin de l'hospitalisation, le département d'information médicale de l'établissement produit un résumé de sortie standardisée (RSS) constitué d'un ou plusieurs RUM. Afin de respecter le principe de confidentialité, seules des données agrégées ou anonymes sont transmises par le DIM à la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales. Le RSS est ainsi transformé en résumé de sortie anonyme (RSA) dans lequel ne figurent plus ni le code postal du lieu de résidence du patient, ni la date d'entrée. Le Tableau V présente le parcours des informations médicales au sein du PMSI. Le Tableau VI présente une comparaison des informations contenues dans le RSS (Résumé standardisé de sortie) et le RSA (Résumé de sortie anonyme).

Tableau VII : Codes CIM-10 des causes d'hospitalisation retenues pour l'étude

Causes d'hospitalisation	Codes CIM-10
Pathologies respiratoires hautes aiguës	J00-J06
Pathologies respiratoires hautes chroniques	J30-J39
Grippe	J10-J11
Pneumopathies	J12-J18
Pathologies respiratoires basses aiguës	J20-J22
Pathologies respiratoires basses chroniques	J40, J60-J95, J96.1 et J99
Bronchopneumopathies chroniques obstructives	J41-J44
Bronchectasie	J47
Asthme	J45-J46
Insuffisance respiratoire aiguë	J96.0

Construction des indicateurs sanitaires

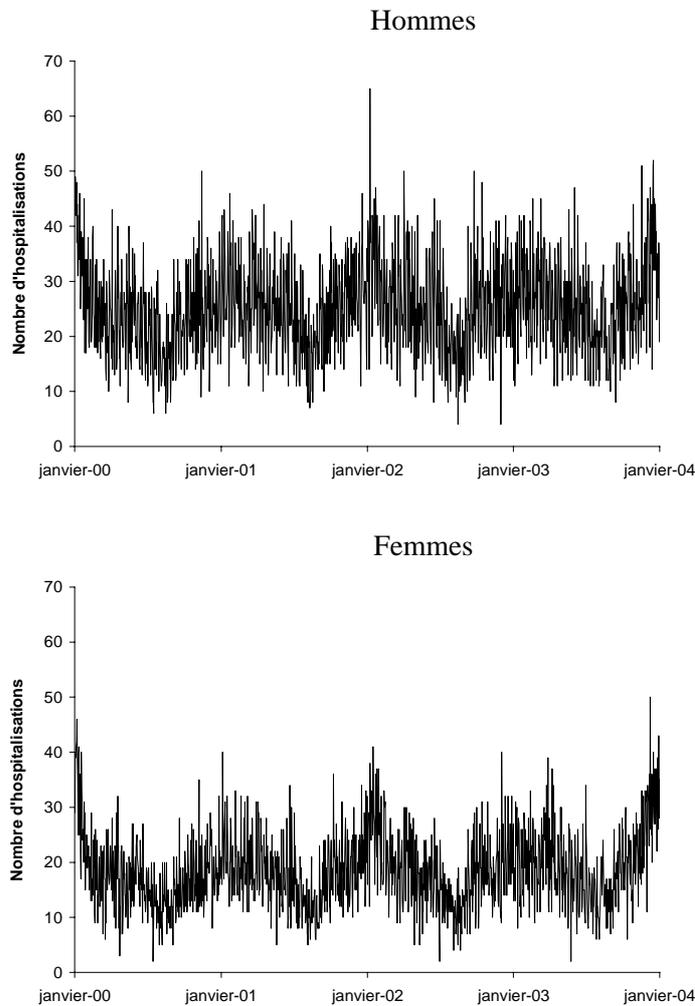
Les indicateurs sanitaires utilisés pour cette étude ont été construits à partir des informations contenues dans les RSS centralisés par la Délégation à l'information médicale et à l'épidémiologie de l'AP-HP. Ces indicateurs sanitaires prennent en compte les séjours dans des établissements de l'AP-HP situés à l'intérieur de la zone d'étude. Les hôpitaux de l'AP-HP représentent 23% des établissements hospitaliers parisiens et 17% des établissements de la proche couronne (données FINESS 2004, exploitation ORS Île-de-France). La part des séjours à l'AP-HP parmi l'ensemble des séjours pour causes respiratoires est importante à Paris (82,5%) mais plus faible en proche couronne. (48,3% dans les Hauts-de-Seine, 29,1% dans la Seine-Saint-Denis et 26,1% dans le Val-de-Marne) (données ARH-PMSI 2001, exploitation ORS Île-de-France).

Les données transmises par la délégation à l'information médicale et à l'épidémiologie de l'AP-HP, sont sélectionnées selon les critères suivants :

- le diagnostic principal du premier RUM (le plus proche du motif d'admission dans l'établissement) doit faire partie des motifs d'hospitalisation présents dans le Tableau VII, correspondant au regroupement selon différentes catégories des pathologies respiratoires ;
- le patient est âgé d'au moins 15 ans ;
- l'établissement est situé à l'intérieur de la zone d'étude ;
- le code postal du domicile du patient appartient à la zone d'étude ;
- l'admission ne fait pas suite à un transfert, et ne correspond pas à une hospitalisation de jour.

Tableau VIII : Description des indicateurs sanitaires (nombre quotidien d'hospitalisations)

Hospitalisations pour causes respiratoires	Minimum	Premier quartile	Moyenne	Troisième quartile	Maximum	Ecart-type
Total	9	33	43,4	52	103	13,8
Femmes	2	13	18,4	22	50	6,9
Hommes	4	19	25,0	30	65	8,5

Figure 2 : Nombre journalier d'hospitalisations pour causes respiratoires, hommes et femmes de plus de 15 ans, entre 2000 et 2003

Source : AP-HP ; Exploitation : ORS Île-de-France

Au total, il y a eu 62 522 hospitalisations à l'AP-HP pour causes respiratoires répondant à ces critères entre 2000 et 2003. Les hommes représentent 57,8% de ces hospitalisations.

Le Tableau VIII présente les statistiques descriptives des hospitalisations pour causes respiratoires totales, chez les hommes et les femmes. La figure 2 présente les séries temporelles des hospitalisations pour causes respiratoires chez les hommes et les femmes. Le coefficient de corrélation entre ces deux séries est de 0,53.

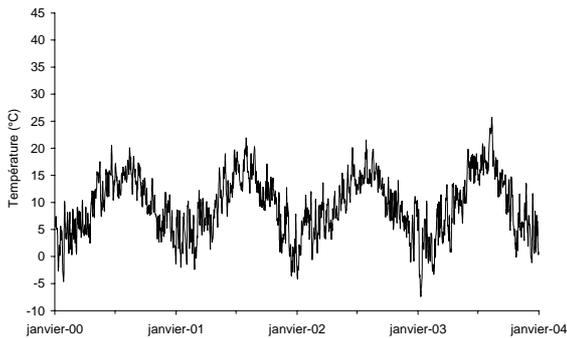
Les hospitalisations comprises entre le 1^{er} et le 20 août 2003 n'ont pas été prises en compte. Il s'agit de la période de canicule de l'été 2003 pendant laquelle le nombre et les causes d'admissions hospitalières ainsi que les niveaux de pollution ont été inhabituels.

Tableau IX : Description des indicateurs météorologiques

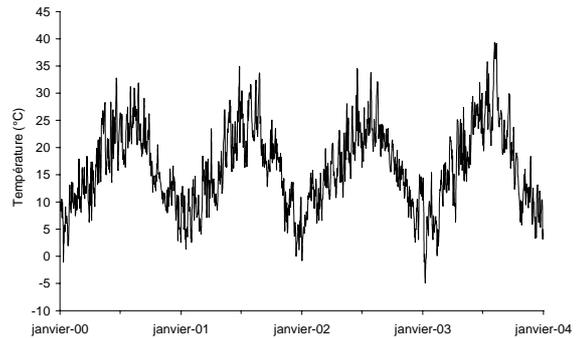
Variables	Minimum	Premier quartile	Moyenne	Troisième quartile	Maximum	Ecart-types
Température minimale	-7,4	5,3	9,3	13,5	25,7	5,5
Température maximale	-4,9	10,7	16,3	21,5	39,3	7,4
Humidité minimale relative	17,0	40,0	53,3	66,0	94,0	16,8

Figure 3 : Séries temporelles des données météorologiques

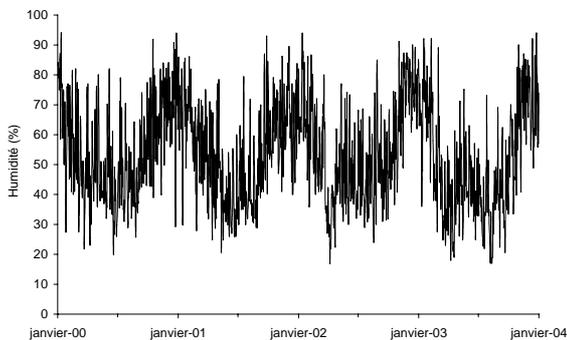
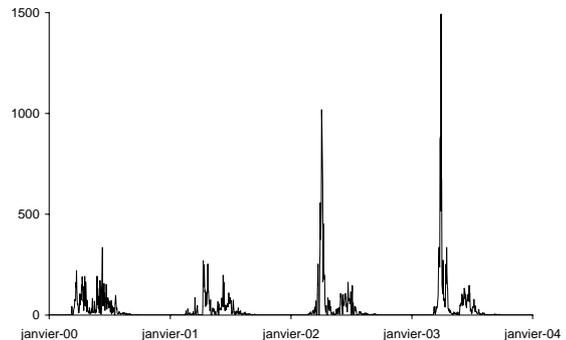
Température minimale journalière



Température maximale journalière



Humidité journalière

Nombre de grains de pollens/m³/j

Sources : Météo-France, et RNSA ; Exploitation : ORS Île-de-France

Les facteurs de confusion

Les facteurs de confusion tels que les conditions météorologiques peuvent biaiser l'estimation du lien entre indicateur sanitaire et exposition à la pollution atmosphérique puisqu'ils influencent à la fois le nombre d'hospitalisations quotidiennes et les niveaux de pollution.

Les pollens et les épidémies de grippe possèdent un effet avéré sur la variable sanitaire. C'est pourquoi ils sont pris en compte dans la modélisation afin de permettre un meilleur ajustement du modèle aux données.

Température, humidité et pollens

Les données météorologiques prises en compte pour l'analyse sont les températures minimales et maximales (en degrés Celsius), et l'humidité minimale relative journalière (exprimée en %). Ces données proviennent de Météo France.

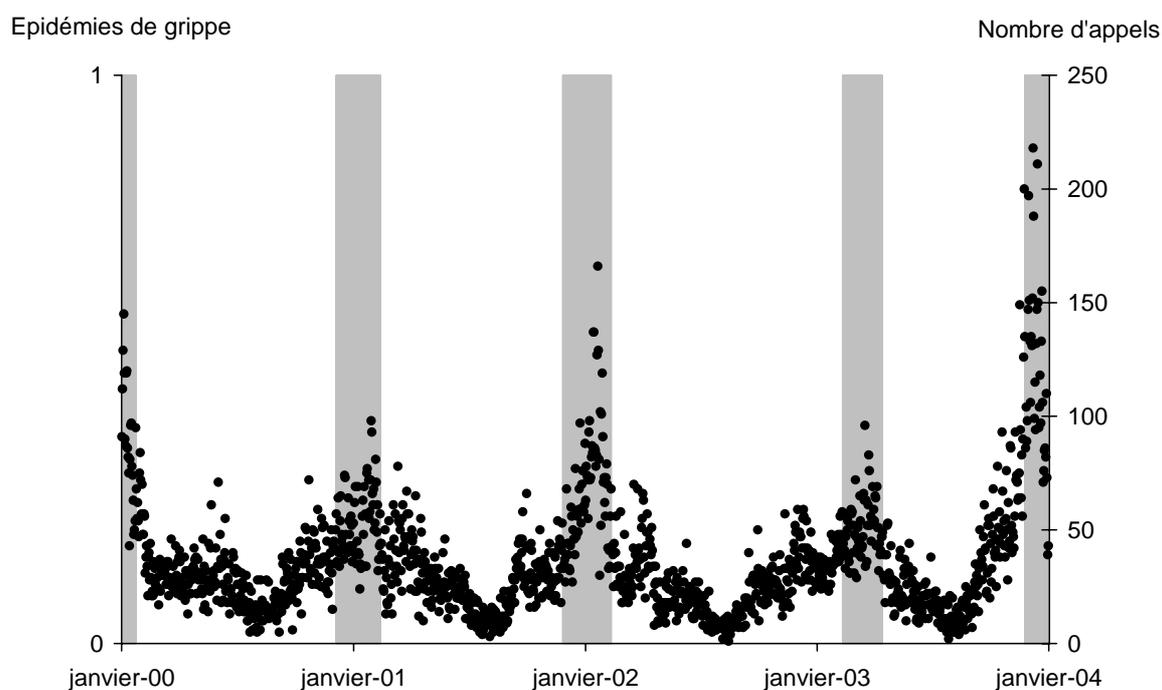
Le décompte pollinique quotidien a été obtenu auprès du Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA). Seuls les principaux pollens dans la région parisienne, connus pour leur caractère allergénique, ont été pris en compte dans l'analyse : il s'agit des pollens de frêne, de platane, de bouleau, ainsi que de graminées [Thibaudon 2004]. Ils ont été introduits dans le modèle sous forme de quatre variables distinctes.

Le Tableau IX présente les statistiques descriptives concernant les températures et l'humidité. La Figure 3 présente les séries temporelles des indicateurs météorologiques et de la somme des comptes polliniques pris en compte sur la période 2000-2003.

Le coefficient de corrélation entre les températures maximales et minimales est de 0,92. L'humidité minimale relative est négativement corrélée aux deux mesures de températures (-0,36 avec la température minimale et -0,58 avec la température maximale).

Tableau X : Description du nombre d'appels quotidiens reçus par SOS médecins pour le motif « grippe »

Variable	Minimum	Premier quartile	Moyenne	Troisième quartile	Maximum	Écart-type
Grippe	1	19	35,7	44	218	25,9

Figure 4 : Série temporelle du nombre d'appels quotidiens reçus par SOS médecin pour le motif « grippe » et périodes d'épidémie de grippe définies par le GROG.

Source : GROG ; Exploitation : ORS Île-de-France

Épidémies de grippe

Les données concernant la grippe ont été obtenues auprès :

- du Groupe régional de surveillance de la grippe (GROG), sous forme d'une variable qualitative binaire permettant d'identifier les périodes d'épidémie grippale [Cohen 2005] ;
- de SOS-médecins, sous forme d'une variable quantitative correspondant au décompte quotidien d'appels ayant pour motif une grippe ou un syndrome grippal.

Plusieurs modes d'introduction dans le modèle des périodes d'épidémies de grippe ont été testées :

- une variable binaire unique pour l'ensemble des épidémies de grippe sur la période 2000-2003 (données GROG) ;
- cinq variables propres à chaque épidémie de grippe (données GROG), introduites chacune soit sous forme de variable binaire, soit sous forme d'une fonction de lissage du temps ;
- une variable quantitative prenant pour valeur le nombre d'appels reçus par SOS-médecins dont le motif est une grippe ou un syndrome grippal en période d'épidémie grippale et zéro sinon (données GROG et SOS-médecins).

La Figure 4 présente le nombre d'appels quotidiens à SOS-médecins et les périodes d'épidémie de grippe définies par le GROG.

Tableau XI : Différents retards affectés aux variables météorologiques et aux indicateurs de pollution atmosphérique

Retards		Valeurs prises en compte			
		J0	J -1	J -2	J -3
Décalages	pas de décalage	*			
	d'un jour		*		
	de deux jours			*	
	de trois jours				*
Moyennes	sur deux jours	*	*		
	sur trois jours	*	*	*	
	sur quatre jours	*	*	*	*

Analyse statistique et modélisation

Le recueil des valeurs d'un paramètre par des mesures répétées dans le temps permet d'obtenir une série temporelle du paramètre mesuré. Il peut s'agir du compte journalier d'un événement de santé tel que les hospitalisations et les décès, ou d'une mesure quotidienne de la concentration d'un polluant dans l'air ambiant. Afin de mesurer le lien statistique qui existe entre deux séries temporelles, les modèles additifs généralisés peuvent être utilisés [Eilstein 2004]. Dans le cadre du présent travail, ces modèles permettront de modéliser les liens entre le niveau quotidien de l'indicateur de pollution et le nombre d'hospitalisations journalières pour causes respiratoires.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R [R Development Core Team, 2005].

La modélisation de ces séries temporelles nécessite de prendre en compte le caractère temporel de ces données et les éventuelles autocorrélations existantes. Dans cette étude des modèles additifs généralisés ont été utilisés [Hastie 1990]. Ces modèles sont une extension des modèles linéaires généralisés [McCullagh 1989], ils permettent de prendre en compte les variables explicatives sous forme paramétrique ou sous forme d'une fonction non paramétrique. Le nombre d'hospitalisations est supposé suivre une loi de Poisson. Dans cette étude des fonctions de lissage de type *spline pénalisée* ont été utilisées. Elles permettent un ajustement plus souple aux données par l'intermédiaire de deux paramètres : le nombre de nœuds et le paramètre de pénalité. Pour chaque variable introduite de façon lissée dans le modèle il faut déterminer les valeurs de ces deux paramètres afin d'obtenir la meilleure modélisation.

Des retards ont été affectés aux séries temporelles des variables météorologiques et de pollution atmosphérique, afin d'étudier un éventuel décalage dans le temps avec les indicateurs sanitaires. Ces décalages sont présentés dans le Tableau XI. Les paramètres de lissage et les décalages des variables ont été sélectionnés afin de minimiser le *critère d'Akaike* (AIC) et la somme des autocorrélations partielles des résidus. Lors de la dernière étape de modélisation, chaque polluant a été initialement introduit dans le modèle sous forme lissée. Compte tenu de la forme des relations exposition-risque ainsi obtenues, une relation linéaire a été utilisée par la suite pour l'estimation des risques relatifs. Les niveaux des différents polluants étant très fortement corrélés entre eux, il a été choisi d'utiliser des modèles mono-polluants.

Analyse par sexe et expression des résultats

Dans le domaine de l'analyse rétrospective de séries temporelles, la méthode la plus fréquemment employée afin de mener une analyse comparative entre différentes catégories de personnes est la construction de modèles spécifiques à chacune de ces catégories. Dans de précédentes études utilisant une méthode similaire, ces catégories ont pu être définies selon :

- différents groupes d'âge : les analyses se sont appuyées sur la construction de modèles spécifiques à chacune des classes d'âge [Atkinson 1999, Fusco 2001, Hajat 1999 et 2002, Hwang 2002, Linn 2000, Luginaah 2005, Wong CM 2002] ;
- les pathologies pré-existantes présentées par les patients : dans une population de malades hospitalisés pour causes respiratoires et cardiovasculaires, il a été étudié la différence de sensibilité à la pollution atmosphérique selon que les patients présentaient ou non un diabète, par la construction de quatre modèles différents (diabétiques et non diabétiques, âge inférieur ou supérieur à 75 ans) [Zanobetti 2001] ;
- les caractéristiques socio-économiques des patients : des analyses ont été effectuées selon l'ethnie et le niveau de couverture sociale des patients, par la construction de modèles spécifiques à chaque catégorie [Gwynn 2001] ;
- le sexe des patients : l'analyse par sexe a été réalisée par la construction de modèles spécifiques aux hommes et aux femmes [Linn 2000, Luginaah 2005].

Ainsi l'analyse par sexe réalisée ici dans le cadre du programme Erpurs a été réalisée en construisant un modèle propre à chaque sexe.

Les risques relatifs (RR) sont obtenus à partir de l'exponentielle des coefficients des polluants dans les modèles. Dans cette étude, les résultats seront présentés sous forme de pourcentage de variation du risque d'hospitalisation pour des augmentations du niveau de polluant de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, d'un niveau faible (P_5) à un niveau médian (P_{50}), et d'un niveau faible à un niveau élevé (P_{95}). Ce pourcentage est égal à : $(RR - 1) \times 100$.

Résultats

Il existe, lorsque l'ensemble des personnes âgées de plus de 15 ans sans distinction de sexe est considéré, un lien statistiquement significatif entre le nombre d'hospitalisations pour causes respiratoires et les indicateurs de pollution atmosphérique PM_{10} et NO_2 . Ce lien est retrouvé pour les hommes considérés séparément, tandis que les liens observés chez les femmes ne sont pas significatifs.

Figure 5 : Répartition du nombre total d'hospitalisations pour causes respiratoires par sexe et par classe d'âge

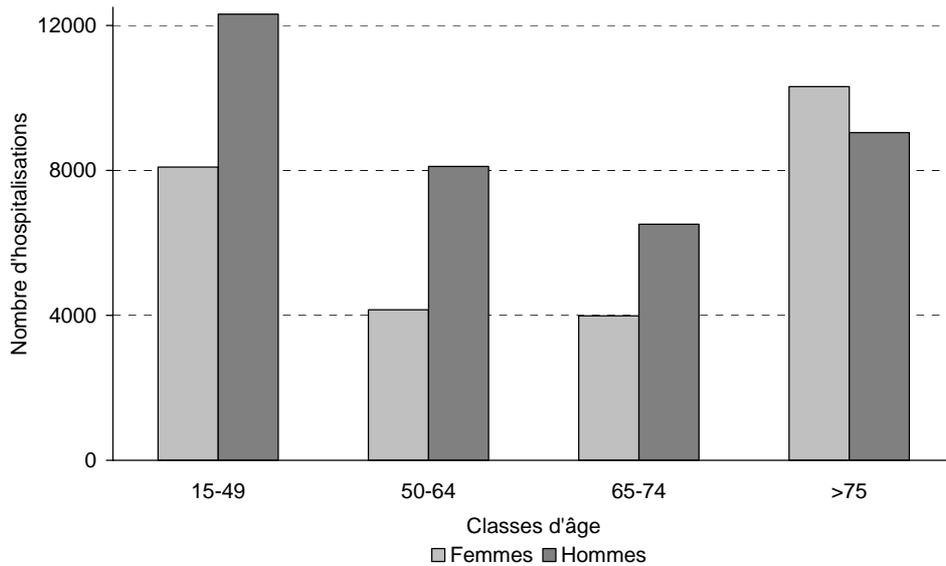
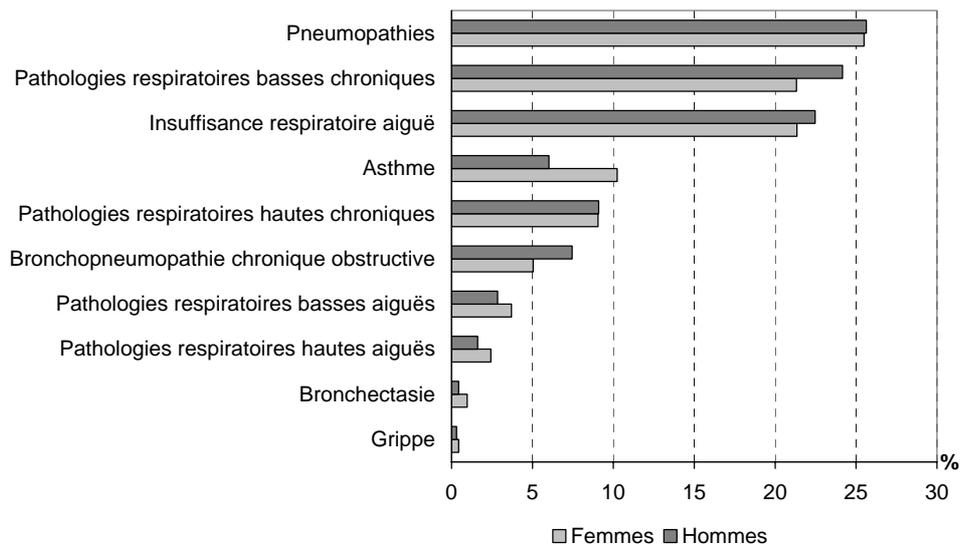


Figure 6 : Répartition par causes d'hospitalisation des hommes et des femmes (détail des causes respiratoires correspondant au Tableau VII)

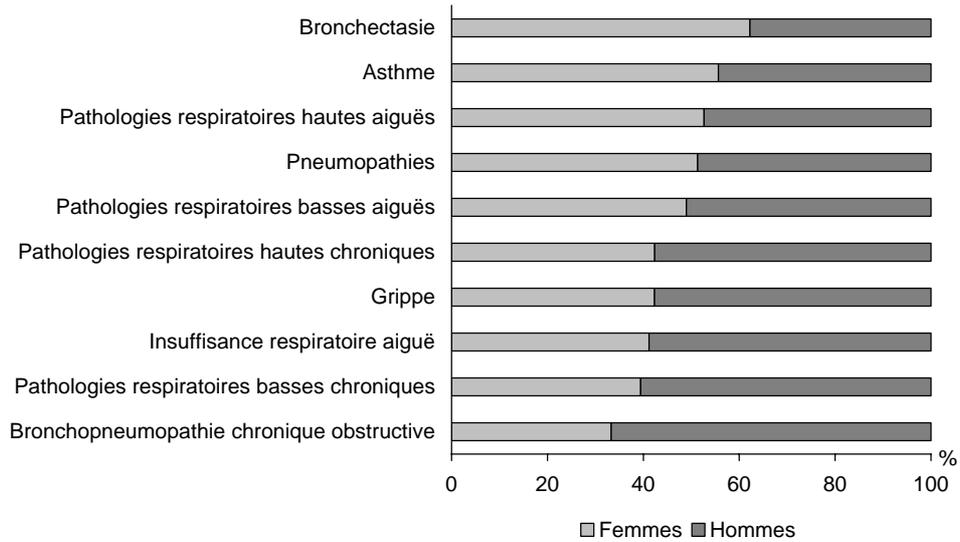


Analyse descriptive des causes d'hospitalisation selon le sexe

La Figure 5 représente la répartition du nombre d'hospitalisations pour causes respiratoires entre hommes et femmes en fonction des classes d'âge. Cette répartition diffère selon la classe d'âge : parmi les patients de moins de 75 ans, la majorité est constituée d'hommes tandis qu'après 75 ans les femmes sont majoritaires.

Lorsque l'on étudie la répartition des causes d'hospitalisation selon le sexe (Figure 6), il est possible de constater que les pneumopathies (25,5% des hospitalisations pour causes respiratoires chez les hommes et 25,6% chez les femmes), les pathologies respiratoires basses chroniques (24,2% et 21,2%) et les insuffisances respiratoires aiguës (22,5% et 21,3%) représentent les principaux motifs d'hospitalisation quel que soit le sexe.

Figure 7 : Répartition hommes/femmes par pathologie (détail des causes d'hospitalisation correspondant au Tableau VII)



La Figure 7 présente la répartition par sexe selon le type de pathologie. La bronchectasie, l'asthme, les pathologies respiratoires hautes aiguës et les pneumopathies sont des motifs d'hospitalisation pour lesquels les femmes prédominent (les femmes représentent respectivement 62,2%, 55,7%, 52,7% et 51,3% des hospitalisations pour ces causes). Au contraire les hommes sont majoritaires pour les motifs d'hospitalisation suivants : les broncho-pneumopathies chroniques obstructives (BPCO, 66,7%), les pathologies respiratoires chroniques (60,6% pour les basses et 57,6% pour les hautes), l'insuffisance respiratoire aiguë (58,8%), la grippe (57,7%) et les pathologies respiratoires basses aiguës (51%).

L'étude plus précise de la répartition des hommes et des femmes par classe d'âge et par pathologie présentée en annexe montre que, dans le cadre des admissions à l'hôpital pour pathologies respiratoires, hommes et femmes ne présentent pas les mêmes caractéristiques (annexes 2 à 4). Les hommes sont majoritairement hospitalisés avant 75 ans alors que les femmes sont majoritaires après cet âge. De plus, la répartition des hommes et des femmes hospitalisées entre les différentes pathologies étudiées ici n'est pas identique.

Par exemple, parmi les personnes de plus de 75 ans, les hospitalisations à Paris et en proche couronne pour pneumopathies sont plus fréquentes chez les femmes que chez les hommes. Ces hospitalisations pourraient révéler chez les femmes une vulnérabilité accrue liée à l'âge face aux pneumopathies (majoritairement d'origine bactérienne), mais elles peuvent aussi ne résulter que de l'effectif plus important de femmes parmi les personnes de plus de 75 ans dans la zone d'étude. En effet les femmes représentent 59,3% des personnes de plus de 60 ans à Paris et en petite couronne [Atlas de la santé en Île-de-France, 2005].

Tableau XII : Variables retenues pour la construction des modèles.

Variable	Nature	Lissage	Décalage et type de variable retenue		
			Modèle tous sexes confondus	Modèle homme	Modèle femme
Tendance	discrète	oui			
Jour de la semaine	discrète	non			
Jours fériés	binaire	non			
Vacances scolaires	qualitative	non	variable qualitative à 5 classes		
Grippe	qualitative	non	absence d'épidémie et 5 périodes d'épidémie grippale		
Température minimale	continue	oui	valeur à J_2	valeur à J_3	moyenne entre J_0 et J_3
Pollens	continue	non	Platane, bouleau, frêne, graminées.		
PM₁₀	continue	non	moyenne entre J_0 et J_3	moyenne entre J_0 et J_3	valeur à J_3
NO₂	continue		valeur à J_3	moyenne entre J_0 et J_3	valeur à J_3

Liens à court terme entre les niveaux des indicateurs de pollution atmosphérique et le risque d'hospitalisation pour causes respiratoires

Variables retenues dans chaque modèle

Sur la base du critère d'Akaike et de la réduction de l'autocorrélation partielle des résidus, les variables retenues pour la construction de chacun des trois modèles sont présentées dans le Tableau XII.

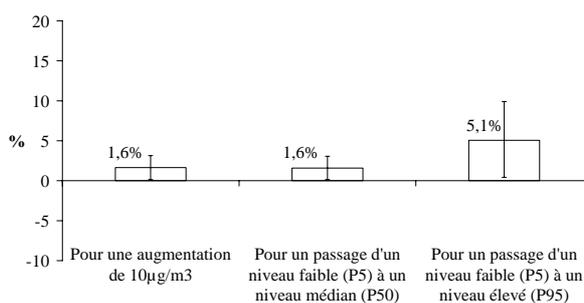
Les périodes de vacances scolaires et les jours de la semaine ont été introduits sous forme de variables qualitatives. Les jours fériés ont été introduits sous forme d'une variable binaire.

Les variables température maximale et humidité minimale relative n'ont pas été retenues pour la construction du modèle, leur contribution en termes de réduction de l'AIC n'étant pas conséquente. Il a été a priori choisi de conserver dans le modèle l'ensemble des pollens.

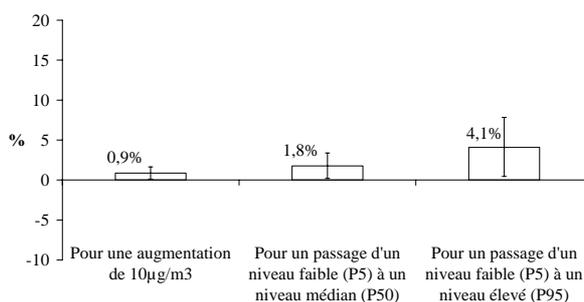
Sur la base du critère d'Akaike et de la réduction de l'autocorrélation partielle des résidus, des retards différents ont été sélectionnés pour les indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique selon la population étudiée (hommes, femmes et tous sexes confondus).

Figure 8 : Évaluation des liens entre les niveaux de polluants (PM₁₀ et NO₂) et le risque d'hospitalisation pour causes respiratoires, tous sexes confondus

Variations de risque associées aux niveaux de PM₁₀



Variations de risque associées aux niveaux de NO₂



Valeurs des 5^{ème} percentile (P₅), 95^{ème} percentile (P₉₅) et médiane (P₅₀) des distributions des niveaux journaliers de polluants

	PM ₁₀ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
P₅	11,2	23,2
P₅₀	21,0	43,6
P₉₅	41,8	69,7

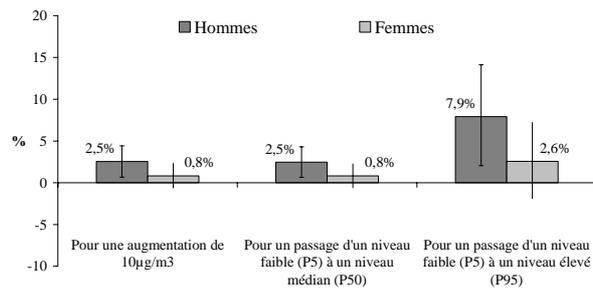
Tous sexes confondus

Les résultats sont présentés sur la Figure 8. Pour l'ensemble de la population, tous sexes confondus, les liens entre les variations de niveaux de pollution atmosphérique et le risque d'être hospitalisé sont significatifs. Ainsi, on observe :

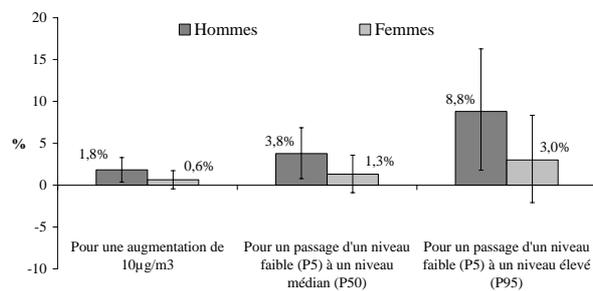
- pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux de pollution, une augmentation significative du risque d'hospitalisation pour causes respiratoires de 1,6% pour les PM_{10} (niveau moyen des quatre jours précédant et incluant l'événement sanitaire), et de 0,9% pour le NO_2 (niveau mesuré trois jours avant l'événement sanitaire) ;
- pour un passage du niveau de pollution de base à un niveau médian, une augmentation significative du risque d'hospitalisation pour causes respiratoires de 1,6% pour les PM_{10} , et de 1,8% pour le NO_2 ;
- pour un passage du niveau de pollution de base à un niveau élevé, une augmentation significative du risque d'hospitalisation pour causes respiratoires de 5% pour les PM_{10} , et de 4% pour le NO_2 .

Figure 9 : Évaluation des liens entre les niveaux de polluants (PM₁₀ et NO₂) et le risque d'hospitalisation pour causes respiratoires chez les hommes et les femmes séparément

Variations de risque associées aux niveaux de PM₁₀



Variations de risque associées aux niveaux de NO₂



Valeurs des 5^{ème} percentile (P₅), 95^{ème} percentile (P₉₅) et médiane (P₅₀) des distributions des niveaux journaliers de polluants

	PM ₁₀ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
P₅	11,2	23,2
P₅₀	21,0	43,6
P₉₅	41,8	69,7

En différenciant hommes et femmes

Les résultats obtenus avec les modèles spécifiques à chaque sexe sont présentés sur la Figure 9.

Chez les hommes, il existe une augmentation significative du risque d'être hospitalisé pour causes respiratoires quel que soit le polluant considéré :

- pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux de pollution (niveau moyen des quatre jours précédant et incluant l'événement sanitaire), une augmentation significative du risque d'hospitalisation pour causes respiratoires d'environ 2,5% pour les PM_{10} , et d'environ 2% pour le NO_2 ;
- pour un passage du niveau de pollution de base à un niveau médian, une augmentation significative du risque d'hospitalisation pour causes respiratoires de 2,5% pour les PM_{10} , et de 4% pour le NO_2 ;
- pour un passage du niveau de pollution de base à un niveau élevé, une augmentation significative du risque d'hospitalisation pour causes respiratoires de 8% pour les PM_{10} , et de 9% pour le NO_2 .

Chez les femmes, des augmentations sont également observées mais elles ne sont pas significatives.

Discussion

Des liens significatifs tous sexes confondus

Cette étude a mis en évidence pour l'ensemble de la population, tous sexes confondus, l'existence d'un lien significatif entre les niveaux de pollution atmosphérique et le risque d'hospitalisation pour causes respiratoires des personnes âgées de 15 ans et plus, quel que soit l'indicateur de pollution utilisé ici (PM_{10} et NO_2).

De nombreuses études ont analysé les liens entre les niveaux de pollution atmosphérique et le risque d'admission à l'hôpital pour certaines causes respiratoires, tous sexes confondus. Notamment, les études de Campagna (2003), Hagen (2000), Fusco (2001) et Linn (2000) ont pris en compte l'ensemble des admissions hospitalières pour causes respiratoires, comme c'est le cas dans la présente étude. Campagna et Linn ont trouvé des liens significatifs entre les variations des niveaux de NO_2 et de PM_{10} et le nombre d'hospitalisations pour causes respiratoires. En revanche, les études de Fusco (2001) et de Hagen (2000) n'ont pas permis de mettre en évidence de liens significatifs pour ces mêmes indicateurs.

D'autres études (Anderson 2001, Atkinson 1999, et Wong 1999) ont porté sur les admissions en urgences en relation avec les niveaux de pollution atmosphérique. Atkinson et Wong ont montré des liens significatifs entre les admissions en urgences pour causes respiratoires et les niveaux de pollution atmosphérique (NO_2 et PM_{10}), alors qu'Anderson n'a pas trouvé de relation significative entre ces indicateurs.

Tableau XIII : Résultats de l'étude de Luginaah (2005), portant sur le lien entre hospitalisations pour causes respiratoires et pollution atmosphérique

Âge	Codes CIM 9	Décalage entre l'exposition et l'événement sanitaire	Pourcentage de variation du risque relatif, pour une augmentation d'un interquartile du niveau de polluant [IC 95%]
Tous âges	460-519	Décalage de 3 jours	Hommes : PM ₁₀ : 2,7% [-2,6 ; 8,3] NO ₂ : -3,0% [-9,1 ; 3,6] Femmes : PM ₁₀ : 2,2% [-3,2 ; 7,8] NO ₂ : 3,6% [-3,0 ; 10,7]
15-64 ans	460-519	Décalage de 2 jours	Hommes : PM ₁₀ : 17,5% [3,6 ; 33,2] NO ₂ : -0,8% [-16,7 ; 18,2] Femmes : PM ₁₀ : 4,9% [-5,4 ; 16,3] NO ₂ : 4,4% [-8,2 ; 18,7]

Les résultats obtenus diffèrent qualitativement selon le sexe

L'étude de la relation entre les niveaux de pollution atmosphérique et le nombre d'hospitalisations selon le sexe a permis de montrer que les modèles statistiques retenus et les effets sanitaires observés sont différents pour les hommes et pour les femmes. Ces deux résultats semblent souligner l'existence d'une différence de sensibilité des hommes et des femmes face à la pollution atmosphérique. Ainsi, dans cette étude, des liens significatifs sont observés entre les niveaux de pollution atmosphérique et le risque d'hospitalisation pour causes respiratoires chez les hommes de plus de 15 ans. Au contraire, les liens observés pour les femmes de plus de 15 ans ne sont pas statistiquement significatifs.

Revue des résultats présentés dans la littérature scientifique internationale

Dans une analyse par sexe utilisant le même type d'indicateur sanitaire et d'analyse, Luginaah (2005, voir Tableau XIII) observe que le seul résultat significatif concerne les hommes de 15 à 64 ans en relation avec les niveaux de PM₁₀. Cependant, la taille de l'intervalle de confiance de ce résultat et l'absence de significativité des autres résultats pourraient être expliquées par un manque de puissance lié à un faible nombre quotidien d'hospitalisations pour causes respiratoires (2,2 hospitalisations par jour en Ontario contre 43,4 pour Paris et la proche couronne). Il est donc difficile de tirer de cette étude des arguments pouvant permettre d'appuyer nos résultats et de conclure à la différence entre hommes et femmes.

Toutefois, des différences de sensibilité selon le sexe similaires à celles observées ici ont également été mises en évidence dans une étude du lien à court terme entre pollution atmosphérique et mortalité pour causes cardiopulmonaires. Bateson (2004) a ainsi mené une étude de type cas-croisé dont l'objectif était de rechercher dans une population de personnes âgées de plus de 65 ans les facteurs susceptibles de modifier les effets de la pollution particulaire sur la mortalité. Parmi les facteurs étudiés se trouvaient la pré-existence de pathologies cardiorespiratoires, l'âge, le sexe ainsi que les caractéristiques socio-économiques. Cette étude montre que les excès de risque sont plus élevés chez les hommes que chez les femmes. En outre, cette étude montre que chez les hommes, l'excès de risque associé à la pollution particulaire diminue avec l'âge, tandis qu'un effet inverse est observé chez les femmes.

Au contraire, Filleul (2003) observe, après ajustement sur la consommation de tabac, un risque de décès plus important chez les femmes de plus de 65 ans que chez les hommes du même âge

les jours de forte pollution atmosphérique. Sunyer (2000) observe également, en lien avec les niveaux de pollution atmosphérique, un risque de décès plus élevé chez les femmes atteintes de BPCO que chez les hommes atteints de la même maladie. De même, d'autres auteurs (Chen *et al.*, Ostro *et al.*, Zanobetti) observent que les liens entre les niveaux de PM₁₀ et la mortalité sont plus importants chez les femmes que chez les hommes. Ces études apportent donc des éléments en faveur d'une différence de sensibilité selon le sexe qui semblerait aller en sens inverse de celle observée ici.

Enfin, dans une étude concernant les liens entre niveaux de pollution particulaire et admissions à l'hôpital pour certaines causes respiratoires (pneumonies et BPCO), Zanobetti (2000b) n'observe pas de différence selon le sexe.

Les résultats obtenus ici pour Paris et la proche couronne s'intègrent donc dans une certaine variabilité des résultats observés dans la littérature scientifique internationale quant à la différence de sensibilité face à la pollution atmosphérique selon le sexe (pour une revue complète, voir Annesi-Maesano 2003). Il semble donc difficile de conclure de façon certaine sur une plus grande sensibilité des femmes vis-à-vis de la pollution atmosphérique en Île-de-France.

Validité des résultats

Il est possible que certains biais influencent la nature de la relation entre l'exposition à la pollution atmosphérique et l'apparition d'un évènement sanitaire. Dans cette étude, la part des séjours à l'AP-HP parmi l'ensemble des séjours pour causes respiratoires est importante à Paris (82,5%) mais plus faible en proche couronne (entre 26 et 50% selon le département considéré). Ceci pourrait avoir comme conséquence une hétérogénéité démographique de la population au sein de la zone d'étude. Il peut également exister un biais de sélection concernant la population qui a accès aux établissements de soins privés. Il est classique de penser en effet que les catégories socio-économiques moyennes et aisées ont plus fréquemment recours à ce type d'hospitalisation que les catégories défavorisées.

Par ailleurs, les données d'hospitalisations sont issues du PMSI. Or d'une part, le PMSI ne différencie pas les admissions programmées des admissions en urgence, d'autre part, il ne recense pas les consultations aux urgences n'entraînant pas une admission. Ces deux phénomènes qui affaiblissent la sensibilité et la spécificité de l'indicateur sanitaire construit à partir de ces données pourraient avoir pour conséquence de sous-estimer la relation pouvant exister entre l'exposition à la pollution atmosphérique et l'état de santé.

Le nombre moyen journalier d'admissions à l'hôpital pour causes respiratoires chez les plus de 15 ans semble satisfaisant pour ce type d'analyse (43 hospitalisations par jour en moyenne tous sexes confondus). Cependant, il est à noter que le nombre d'hospitalisations chez les femmes est moins important que chez les hommes. Cette différence d'effectifs pourrait participer à une moindre puissance des analyses chez les femmes, qui pourrait entraîner des difficultés pour la mise en évidence de liens significatifs dans cette population. D'autres facteurs pourraient intervenir pour expliquer la différence de sensibilité observés dans cette étude entre hommes et femmes face à la pollution atmosphérique.

De nombreux facteurs pourraient intervenir dans la différence de sensibilité entre hommes et femmes vis-à-vis de la pollution atmosphérique

L'**exposition individuelle à la pollution atmosphérique** dépend de nombreux facteurs dont des facteurs environnementaux et des facteurs liés aux modes de vie des personnes [Boudet 2000 et 2001, Monn 1997, Mosqueron 2002, Saintot 2000]. Les facteurs environnementaux sont par exemple les concentrations ambiantes en polluants atmosphériques (à l'intérieur et à l'extérieur des locaux), la localisation des lieux de vie et de travail, la proximité et l'importance des sources de pollution (réseau routier, industrie, etc.). Le mode de vie est l'ensemble des pratiques qui caractérisent la vie d'un individu. Il regroupe les activités professionnelles et de loisirs, les habitudes comportementales telles que le tabagisme et la mobilité spatio-temporelle des personnes.

Ainsi, l'étude de Boudet (2000) montre que l'exposition résultant du temps passé à l'extérieur des locaux contribue beaucoup dans l'exposition individuelle à la pollution atmosphérique. L'étude de Saintot (2000) montre que l'exposition personnelle augmente avec le temps passé dans les transports. Enfin, la qualité de l'air intérieur influence aussi l'exposition personnelle. Des facteurs liés au sexe tels que les activités à l'intérieur des habitations, le tabagisme et le temps d'utilisation d'appareils de cuisson au gaz influencent notamment les concentrations intérieures en polluants [Mosqueron 2002, Monn 1997, Saintot 2000].

Une analyse par catégories démographiques et socioéconomiques a été réalisée dans le cadre d'études portant sur l'exposition personnelle aux particules fines parmi des habitants d'Helsinki. Elles ont permis de mettre en évidence une différence d'exposition personnelle selon le sexe. Les hommes auraient des niveaux d'exposition plus élevés que les femmes. Et parmi les hommes, les hommes actifs seraient plus exposés que les inactifs [Rotko 2000 et 2001].

Ici la construction d'un indicateur d'exposition unique pour l'ensemble de la zone d'étude à partir des valeurs mesurées par les stations de fond du réseau Airparif suppose que les variations d'un jour à l'autre de ces niveaux sont représentatives des variations d'un jour à l'autre des expositions individuelles au sein de la zone étudiée. Cependant, la relation entre l'indicateur d'exposition global ainsi construit et l'exposition individuelle des hommes pourrait être plus étroite que celle avec l'exposition individuelle des femmes. Ceci pourrait contribuer à expliquer les résultats obtenus ici en terme de risques relatifs.

Pour déterminer s'il existe une différence de **susceptibilité biologique** face à la pollution atmosphérique liée au sexe des personnes, de nombreuses études expérimentales ont porté sur les interactions entre les polluants et les organismes vivants. Les résultats de ces études montrent que ces interactions entraînent des conséquences physiologiques complexes et impliquent des mécanismes qui pourraient être spécifiques à chaque sexe mais qui ne sont pas encore totalement élucidés [Becklake 1999, Keitt 2004, Pope 2000]. Cependant, pour interpréter les différences de sensibilité selon l'âge et le sexe qu'il observe dans une étude épidémiologique concernant les effets de la pollution atmosphérique sur la mortalité de personnes atteintes de BPCO, Sunyer (2000) évoque deux explications. D'une part, les femmes âgées présenteraient des réactions inflammatoires pulmonaires plus importantes que les hommes. D'autre part, les femmes présenteraient des poumons plus petits avec des voies respiratoires élargies par rapport à celles des hommes, ce qui contribuerait à des différences de dépôts particulaires entraînant des réactions pulmonaires plus importantes.

L'analyse descriptive de la population des hommes et des femmes hospitalisés pour causes respiratoires a permis de mettre en évidence l'existence de **deux profils de patients différents**. Les résultats observés dans cette étude pourraient ainsi correspondre au fait que les pathologies pour lesquelles les hommes sont hospitalisés présentent un lien plus important avec la pollution atmosphérique. Par exemple on pourrait penser que les hospitalisations des hommes de moins de 75 ans correspondent d'avantage à des rechutes de maladies chroniques favorisées par la pollution atmosphérique. Or la maladie respiratoire chronique majoritaire chez les hommes est la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO). Et des liens significatifs ont déjà été mis en évidence entre les hospitalisations pour BPCO et les niveaux des PM₁₀ et/ou de NO₂ dans différentes études [Anderson 1997, Atkinson et 2001, Linn 2000, Wong TW 1999]. Au contraire, les résultats de cette étude semblent indiquer que les pathologies aiguës, pour lesquelles les femmes sont majoritairement hospitalisées à un âge plus avancé, seraient moins liées aux niveaux de pollution.

Les différences de profils cliniques entre hommes et femmes constatées ici pour la période 2000-2003 pourraient en partie être expliquées par des **différences vis-à-vis de la consommation de tabac**. Le tabagisme est en effet un facteur de risque extrêmement important pour les pathologies respiratoires, en particulier les BPCO. Ainsi, en 2000, la prévalence du tabagisme actuel ou passé est bien plus élevée chez les hommes âgés de plus de 40 ans que chez les femmes du même âge [Grémy 2002]. Il sera sans doute intéressant de réaliser dans les années futures une analyse descriptive des causes d'hospitalisation par sexe similaire à celle réalisée ici, dans la mesure où les hommes et les femmes âgés de moins de 40 ans aujourd'hui ont des comportements de consommation de tabac très proches [Grémy 2002].

L'existence d'une **prise en charge différente selon le sexe du patient** pourrait également être une explication à la présence de ces deux profils cliniques différents. Un premier élément en faveur de cette hypothèse est la possibilité d'une influence du sexe des patients sur le diagnostic posé par le médecin. Une étude portant sur des médecins généralistes nord-américains [Chapman 2001] et une étude espagnole [Peña 2000] ont trouvé un lien entre le sexe des malades et le diagnostic de BPCO. Dans ces deux études, la probabilité qu'une BPCO soit diagnostiquée lorsque le patient présente effectivement cette affection est plus élevée pour les hommes que pour les femmes. De plus, selon Watson (2004), les femmes bénéficient moins souvent des tests permettant de quantifier une éventuelle insuffisance respiratoire. Un deuxième élément en faveur d'une différence de prise en charge entre sexe repose sur la différence d'adhésion aux soins entre les hommes et les femmes [Chapman 2004, Watson 2004].

Il convient donc de rester prudent dans l'interprétation des différences observées entre les hommes et les femmes dans cette étude, quant à la sensibilité vis-à-vis de la pollution atmosphérique. La différence observée, si elle se trouve confirmée par d'autres études, ne résulterait pas uniquement d'une différence de susceptibilité biologique face à la pollution atmosphérique, mais elle serait le reflet d'un ensemble d'autres facteurs dépendant du sexe : différences de mode de vie, d'exposition individuelle et de prise en charge médicale notamment.

Références

Annesi-Maesano I, Agabiti N, Pistelli R, Couilliot MF, Forastiere F. Subpopulations at increased risk of adverse health outcomes from air pollution. *Eur Respir J* 2003; 21: Suppl. 40, 57s-63s.

Anderson HR, Bremner SA, Atkinson RW, Harrison RM, Walters S. Particulate matter and daily mortality and hospital admissions in the west midlands conurbation of the United Kingdom: associations with fine and coarse particles, black smoke and sulphate. *Occup Environ Med* 2001;58:504-510.

Anderson HR, Spix C, Médina S, Schouten JP, Castellsague J, Rossi G, Zmirou D, Touloumi G, Wojtyniak B, Ponka A, Bacharova L, Schwartz J, Katsouyanni K. Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project. *Eur Respir J* 1997; 10: 1064–1071.

Atkinson RW, Anderson HR, Sunyer J, Ayres J, Baccini M, Vonk JM, Boumghar A, Forastiere F, Forsberg B, Touloumi G, Schwartz J, Katsouyanni K. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from Apeha 2 project. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:1860-1866.

Atkinson RW, Bremner SA, Anderson HR, Strachan DP, Bland JM, Ponce De Leon A. Short-term associations between emergency hospital admissions for respiratory and cardiovascular disease and outdoor air pollution in London. *Arch Environ Health*, 1999; 54(6): 398-411.

Atlas de la santé en Île-de-France, septembre 2005.

Barjou C. Le PMSI (Programme de médicalisation des systèmes d'information), analyse médico-économique de l'activité hospitalière. La lettre d'informations hospitalières. Lettre des systèmes d'information médicalisés. Numéro spécial mai 1996.

Bateson TF, Schwartz J. Who is sensitive to the effects of particulate air pollution on mortality? *Epidemiology* 2004;15:143-149.

Becklake M, Kauffmann F. Gender differences in airway behaviour over the human life span. *Thorax* 1999; 54:1119-1138.

Boudet C, Zmirou D, Déchenaux J. Exposition personnelle aux particules fines (PM_{2,5}) de la population grenobloise : l'étude européenne EXPOLIS. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2000; 48: 341-350.

Boudet C, Zmirou D, Vestri V. Can one use ambient air concentration data to estimate personal and population exposures to particles? An approach within the European EXPOLIS study. *Sci Total Environ* 2001; 267: 141-150.

Campagna D, Lefranc A, Nunes-Odasso C, Ferry R. Evaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé (Erpurs) : résultats 1987-2000. Observatoire régional de santé d'Île-de-France. Paris, 2003.

Caracta CF. Gender differences in pulmonary disease. *The Mt Sinai J Med* 2003; 70(4).

CCE 2002 : Rapport annuel de la commission des communautés européennes sur l'égalité des chances entre les femmes et les hommes dans l'union européenne en 2002.

Chapman KR, Tashkin DP, Pye DJ. Gender bias in the diagnosis of COPD. *Chest* 2001; 119: 1691-1695.

Chardon B, Lefranc A, Granados D, Grémy I. Évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé : analyse des liens à court terme entre niveaux de pollution atmosphérique et visites médicales à domicile (2000-2003). Observatoire régional de santé d'Île-de-France. Paris, 2005.

Chen LH, Knutsen SF, Shavlik D, Beeson WL, Petersen F, Ghamsary M. The association between fatal coronary heart disease and ambient particulate air pollution : are females at greater risk ? *Environ Health Perspect* 2005;113:1723-1729.

Cohen JM, Mosnier A, Valette M, Bensoussan JL, Van Der Werf S; GROG-I. General practice and surveillance: the example of influenza in France. *Med Mal Infect* 2005;35(5):252-6.

Dab W, Médina 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(suppl 1):S42-S46.

Eilstein D, Zeghnoun A, Le Tertre A, Cassadou S, Declercq C, Filleul L, Lefranc A, Medina S, Nunes C, Pascal L, Prouvost H, Saviuc P, Campagna D, Quénel P. Modélisation des liens à

court terme entre la pollution atmosphérique et la santé : une actualisation des méthodes d'analyse des séries temporelles. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2004; 52: 583-589.

Filleul L, Baldi I, Dartigues JF, Tessier JF. Risk factors among elderly for short term deaths related to high levels of air pollution. *Occup Environ Med* 2003;60:684-688.

Fusco D, Forastiere F, Michelozzi P, Spadea T, Ostro B, Arca M, Perucci CA. Air pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy. *Eur Respir J* 2001; 17: 1143-1150.

Grémy I, Halfen S. Les connaissances, attitudes et perception des Franciliens à l'égard du tabac. Observatoire régional de santé d'Île-de-France. Paris, 2002.

Gwynn R, Thurston G. The Burden of Air Pollution: Impacts among Racial Minorities. *Environ Health Perspect* 2001; 109(suppl 4): 501-506.

Hagen JA, Nafstad P, Skrandal A, Bjorkly S, Magnus P. Associations between outdoor air pollutants and hospitalization for respiratory diseases. *Epidemiology* 2000; 11: 136-140.

Hajat S, Haines A, Goubet SA, Atkinson RW, Anderson HR. Association of air pollution with daily GP consultations for asthma and other lower respiratory conditions in London. *Thorax* 1999 ; 54 : 597-605.

Hajat S, Anderson HR, Atkinson RW, Haines A. Effects of air pollution on general practitioner consultations for upper respiratory diseases in London. *Occup Environ Med* 2002 ; 59 : 294-299.

Hastie T, Tibshirani R. *Generalized additive models*. London : Chapman and Hall, 1990.

Hwang JS, Chan CC. Effects of air pollution on daily clinic visits for lower respiratory tract illness. *Am J Epidemiol* 2002 ; 155 : 1-10.

Keitt SK, Fagan TF, Marts SA. Understanding sex differences in environmental health : a thought leaders' roundtable. *Environ Health Perspect* 2004; 112:604-609.

Linn WS, Szlachcic Y, Gong H Jr., Kinney PL, Berhane KT. Air Pollution and Daily Hospital Admissions in Metropolitan Los Angeles. *Environ Health Perspect* 2000;108:427-434.

Luginaah IN, Fung KY, Gorey KM, Webster G, Wills C. Association of ambient air pollution with respiratory hospitalization in a government-designated "area of concern" : The case of Windsor, Ontario. *Environ Health Perspect* 2005; 113:290-296.

McCullagh P, Nelder JA. *Generalized Linear Models*. London : 2nd edition, Chapman & Hall, 1989.

Medina S, Le Tertre A, Dusseux E, Boumghar A, Camard JP. Analyse des liens à court terme entre la pollution atmosphérique et la santé : Résultats 1991-1995. Evaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé, *Erpurs*. Observatoire régional de santé d'Île-de-France. Paris, 1998.

Medina S, Le Tertre A, Quénel P, Le Moullec Y. Impact de la pollution atmosphérique sur la santé en Île-de-France : résultats 1987-1992. Evaluation des risques de pollution urbaine sur la santé, *Erpurs*. Observatoire régional de santé d'Île-de-France. Paris, 1994.

Monn C, Fuchs A, Hogger D, Junker M, Kogelschatz D, Roth N, Wanner HU. Particulate matter less than 10 μ m (PM₁₀) and fine particles less than 2.5 μ m (PM_{2.5}):relationships between indoor, outdoor and personal concentrations. *Sci Total Environ* 1997 ; 208: 15-21.

Mosqueron L, Momas I, Le Moullec Y. Personal exposure of Paris office workers to nitrogen dioxide and fine particles. *Occup Environ Med* 2002;59:550-556.

Ostro B, Broadwin R, Green S, Feng WY, Lipsett M. Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE. *Environ Health Perspect*, 2006;114:29-33.

Peña VS, Miravittles M, Gabriel R, Jimenez-Ruiz CA, Villasante C, Masa JF, Viejo JL, Fernandez-Fau L. Geographic variations in prevalence and underdiagnosis of copd. *Chest* 2000; 118:981-989.

Pope CA III, Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanisms and who's at risk? *Environ Health Perspect* 2000;108(Suppl 4):713-723.

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. Programme de surveillance air et santé 9 villes. Institut de veille sanitaire. Paris, 1999.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2005 ; URL <http://www.R-project.org>.

Rotko T, Koistinen K, Hanninen O, Jantunen M. Sociodemographic descriptors of personal exposure to fine particles (PM_{2,5}) in EXPOLIS Helsinki. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2000 ;10(4):385-93.

Rotko T, Kousa A, Alm S, Jantunen M. Exposures to nitrogen dioxide in EXPOLIS-Helsinki: microenvironment, behavioral and sociodemographic factors. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2001;11(3):216-23.

Saintot M, Bernard N, Astre C, Galan P, Herberg S, Gerber M. Expositions au dioxyde d'azote et à l'ozone d'une population de l'Île-de-France. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2000; 2S54-2S61.

Sunyer J, Schwartz J, Tobias A, Macfarlane D, Garcia J, Anto JM. Patients with chronic obstructive pulmonary disease are at increased risk of death associated with urban particle air pollution: a case-crossover analysis. *Am J Epidemiol* 2000;151(1):50-6.

The United Nations, Fourth World Conference on Women 1995. The Official Report of the FWCW containing the Beijing Declaration and Platform for Action. URL : <http://www.un.org/womenwatch/daw/beijing/official.htm>

Thibaudon M. Rapport d'activité RNSA 2003. *Allergie & Immunologie* 2004; 36(7):252-5.

Watson L, Vestbo J, Postma DS, Decramer M, Rennard S, Kiri VA, Vermeire PA, Soriano JB. Gender differences in the management and experience of chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med* 2004; 98:1207-1213.

Wong CM, Atkinson RW, Anderson HR, Hedley AJ, Ma S, Chau PYK, Lam TH. A Tale of Two Cities: Effects of Air Pollution on Hospital Admissions in Hong-Kong and London Compared. *Environ Health Perspect* 2002; 110:67-77.

Wong TW, Lau TS, Yu TS, Neller A, Wong SL, Tam W, Pang SW. Air pollution and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Hong Kong. *Occup Environ Med.* 1999;56:679-683.

Zanobetti A, Schwartz J. Race, gender and social status as modifiers of the effects of PM₁₀ on mortality. *J. Occup Environ Med* 2000a; 42(5):469-474.

Zanobetti A, Schwartz J, Gold D. Are there sensitive subgroups for the effect of airborne particles? *Environ Health Perspect* 2000b; 108(9):841-845

Zanobetti A, Schwartz J. Are diabetics more susceptible to the health effects of airborne particles? *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164:831-833.

Annexes

ANNEXE 1 : Corrélations des mesures de PM₁₀ et de NO₂ entre stations

PM ₁₀	Paris XVIII	Bobigny	Gennevilliers	Issy-les-Moulineaux	Tremblay-en-France	Vitry-sur-Seine	Moyenne (µg/m ³)
Paris XII	0,93	0,95	0,92	0,91	0,92	0,94	24
Paris XVIII	1	0,94	0,96	0,95	0,90	0,95	24
Bobigny	-	1	0,94	0,90	0,94	0,94	24
Gennevilliers	-	-	1	0,93	0,92	0,93	23
Issy-les-Moulineaux	-	-	-	1	0,88	0,94	22
Tremblay-en-France	-	-	-	-	1	0,92	22

NO ₂	Bobigny	Issy-les-Moulineaux	Neuilly-sur-Seine	Paris XII	Paris XVIII	Saint-Denis	Vitry-sur-Seine	Garches	Tremblay-en-France	Cachan	Gennevilliers	Ivry-sur-Seine	Moyenne (µg/m ³)
Bobigny	1,00	0,80	0,85	0,89	0,87	0,87	0,87	0,78	0,84	0,85	0,87	0,84	43
Issy-les-Moulineaux		1,00	0,80	0,75	0,90	0,67	0,86	0,83	0,73	0,93	0,85	0,92	43
Neuilly-sur-Seine			1,00	0,84	0,87	0,89	0,78	0,86	0,65	0,87	0,91	0,76	51
Paris XII				1,00	0,85	0,90	0,88	0,67	0,80	0,79	0,83	0,82	49
Paris XVIII					1,00	0,80	0,87	0,81	0,75	0,94	0,93	0,91	52
Saint-Denis						1,00	0,77	0,72	0,72	0,75	0,88	0,69	45
Vitry-sur-Seine							1,00	0,72	0,85	0,87	0,82	0,91	42
Garches								1,00	0,61	0,88	0,86	0,73	31
Tremblay-en-France									1,00	0,72	0,73	0,82	35
Cachan										1,00	0,91	0,91	40
Gennevilliers											1,00	0,85	40
Ivry-sur-Seine												1,00	46

ANNEXE 2 : Nombre d'hospitalisations pour chaque sexe par pathologie pour la période d'étude

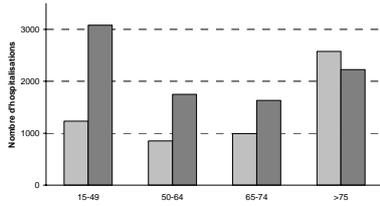
Sexe	Femmes	Hommes	Total
Asthme	2 717	2 165	4 882
Insuffisance respiratoire aiguë	5 666	8 086	13 752
Bronchopneumopathie chronique obstructive	1 338	2 679	4 017
Bronchectasie	257	156	413
Grippe	116	110	226
Pneumopathies	6 766	9 221	15 987
Pathologies respiratoires basses aiguës	981	1 022	2 003
Pathologies respiratoires basses chroniques	5 657	8 691	14 348
Pathologies respiratoires hautes aiguës	643	578	1 221
Pathologies respiratoires hautes chroniques	2 403	3 270	5 673
Total	26 544	35 978	62 522

ANNEXE 3: Répartition du nombre d'hospitalisations selon l'âge le sexe et les pathologies pour la période d'étude

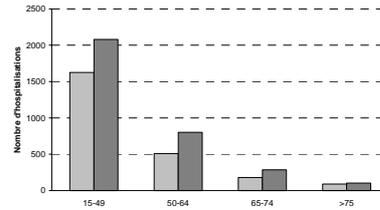
Pathologies	Sexe	Age			
		15-49	50-64	65-74	>75
Asthme	F	1 507	548	288	374
	H	1 293	488	240	144
Insuffisance respiratoire aiguë	F	1 244	972	1 130	2 320
	H	1 819	2 066	1 946	2 255
Bronchopneupathie chronique obstructive	F	205	230	301	602
	H	426	823	658	772
Bronchectasie	F	63	80	67	47
	H	70	37	29	20
Grippe	F	66	19	13	18
	H	65	17	11	17
Pneumopathies	F	1 428	776	850	3 712
	H	2 766	1 845	1 508	3 102
Pathologies respiratoires basses aiguës	F	183	116	142	540
	H	242	217	180	383
Pathologies respiratoires basses chroniques	F	1 233	854	993	2 577
	H	3 082	1 750	1 633	2 226
Pathologies respiratoires hautes aiguës	F	539	49	23	32
	H	469	63	25	21
Pathologies respiratoires hautes chroniques	F	1 624	510	179	90
	H	2 080	801	286	103
Total	F	8 092	4 154	3 986	10 312
	H	12 312	8 107	6 516	9 043

Annexe 4 : Répartition des hommes (en foncé) et des femmes (en clair) par pathologie et par âge

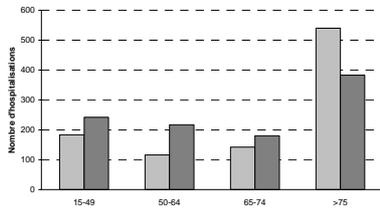
Pathologies respiratoires basses chroniques



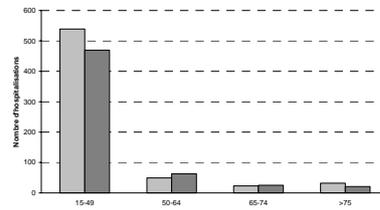
Pathologies respiratoires hautes chroniques



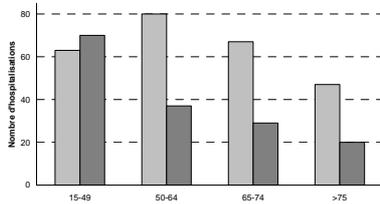
Pathologies respiratoires basses aiguës



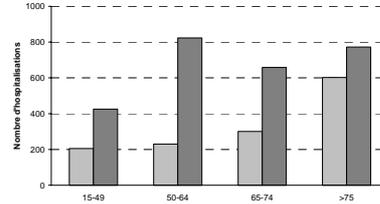
Pathologies respiratoires hautes aiguës



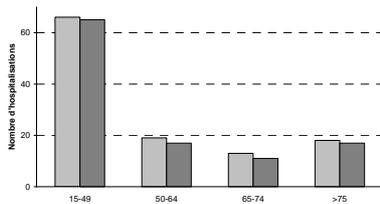
Bronchectasie



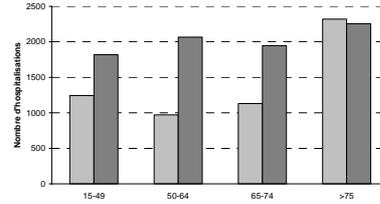
BPCO



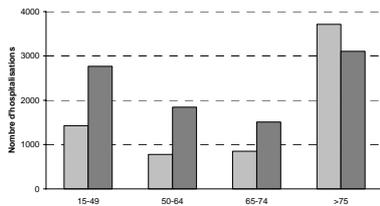
Grippe



Insuffisance respiratoire aiguë



Pneumopathies



Asthme

