

Santé environnement

**Pollution atmosphérique et
hospitalisations pour pathologies
cardio-vasculaires et respiratoires,
et pour cancers dans le secteur
de l'Étang de Berre, 2004-2007**

Sommaire

Abréviations	2
Résumé	3
1. Contexte et objectifs	5
1.1 Contexte local autour de l'Étang de Berre	5
1.2 Objectifs de l'étude	9
2. Méthodes	11
2.1 Définition de la période d'étude	11
2.2 Définition de la zone d'étude	11
2.3 Estimation du niveau moyen annuel d'exposition aux PM10 et au SO2 par communes	14
2.4 Construction des indicateurs d'hospitalisations	18
2.5 Facteurs de confusion	22
2.6 Analyse statistique	22
3. Résultats descriptifs de la zone d'étude située autour de l'Étang de Berre	24
3.1 Caractéristiques sociodémographiques de la zone d'étude	24
3.2 Caractérisation de l'exposition	26
3.3 Description des hospitalisations dans la zone d'étude	28
3.4 Association entre les niveaux traceurs de pollution industrielle et les hospitalisations	34
4. Discussion	38
4.1 Principaux résultats	38
4.2 Estimation de l'exposition	38
4.3 Qualité des indicateurs d'hospitalisation	39
4.4 Modélisation et validité des résultats	40
4.5 Interprétation des résultats	42
5. Conclusion et recommandations	44
Références bibliographiques	46
Annexes	52
Annexe 1 - Grilles de calcul pour la modélisation des PM10	52
Annexe 2 - Définition des indicateurs d'hospitalisation	53
Annexe 3 - Fréquence des réadmissions au cours de la période d'étude pour chaque indicateur d'hospitalisation	55
Annexe 4 - Nombre de patients hospitalisés sur la période d'étude pour chaque indicateur sanitaire en région Paca	57
Annexe 5 - Caractéristiques socio-démographiques de la zone d'étude	58
Annexe 6 - Moyennes annuelles en Gg/m3 des stations fixes du réseau Airfobep situées sur la zone d'étude	60
Annexe 7 - Nombres d'hospitalisations observés et attendus, SHR et leur distribution selon les niveaux d'exposition au SO2	61
Annexe 8 - Risques relatif d'hospitalisation estimés pour une exposition à des niveaux de PM10 moyens ou élevés par rapport à un niveau de référence	64

Pollution atmosphérique et hospitalisations pour pathologies cardio-vasculaires et respiratoires, et pour cancers dans le secteur de l'Étang de Berre, 2004-2007

Rédacteurs

Laurence Pascal¹, Morgane Stempfelet², Sarah Gorla², Jean-Luc Lasalle¹, Mathilde Pascal², Christophe Declercq²

Analyse statistique

Sarah Gorla², Laurence Pascal¹, Noémie Resseguier¹

Système d'information géographique

Morgane Stempfelet², Perrine de Crouy-Chanel²

¹ Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud (Cire Sud), Marseille

² Département santé environnement, Institut de veille sanitaire (InVS), Saint -Maurice

Comité technique

Philippe Alesandrini : Agence régionale de santé (ARS) de Provence-Alpes-Côte d'Azur (Paca) ; Dr Vincent Bèsin : Association santé environnement France (Asef) ; Pr Denis Charpin : Service de pneumologie, Assistance publique des hôpitaux de Marseille (AP-HM) ; Gérard Casanova : Collectif Citoyen santé environnement de Port-Saint-Louis-du-Rhône (CCSE) ; Jacques Carle : CCSE ; Dr Jean-Luc Duponchel : ARS de Paca ; Pr François Eisinger : Cancérologie, Institut Paoli Calmette (IPC), Marseille ; Jean-Luc Lasalle : Cire Sud ; Jean-François Mauro puis Xavier Villetard : Association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air (Airfobep) ; Dr Laurence Pascal : Cire Sud

Relecture du rapport

Dr Georges Salines, Département santé environnement, InVS

Remerciements

Évelyne Couvin et Morgan Jacqueminot (Airfobep) pour la transmission des données de modélisation du SO₂ et PM₁₀

Javier Nicolau (InVS) pour la transmission des données du PMSI

Edwige Bertrand (InVS) pour la bibliographie

Acronymes

Aasqa	Association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air
BPCO	Broncho-pneumopathie chronique obstructive
CIM	Classification internationale des maladies
Cire	Cellule interrégionale d'épidémiologie
CO	Monoxyde de carbone
CO₂	Dioxyde de carbone
COVnm	Composés organiques volatiles non méthaniques
DA	Diagnostic associé
Ddass	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
DP	Diagnostic principal
ERSZ	Évaluation de risque sanitaire de zone
GHM	Groupe homogène de malades
GPMM	Grand port maritime de Marseille
Insee	Institut national de statistiques et des études économiques
InVS	Institut de veille sanitaire
LMNH	Lymphome malin non hodgkinien
MCO	Médecine-chirurgie-obstétrique
NOx	Oxydes d'azote
NO₂	Dioxyde d'azote
O₃	Ozone
OMS	Organisation mondiale de la santé
ORS	Observatoire régional de la santé
Paca	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PM₁₀	Particules de diamètre inférieur à 10 µm
PM_{2,5}	Particules de diamètre inférieur à 2,5 µm
PMSI	Programme de médicalisation des systèmes d'information
RR	Risque relatif
RSA	Résumé de sortie anonyme
RSS	Résumé de sortie standardisé
RUM	Résumé d'unité médicale
SHR	Ratio standardisé d'hospitalisation
SIG	Système d'information géographique
SO₂	Dioxyde de soufre
ZIP	Zone industrialo-portuaire
ZU	Zone urbanisée

Résumé

Contexte

Le pourtour de l'Étang de Berre est une zone densément peuplée, où de nombreuses industries ont été installées depuis plus de 50 ans. La zone Fos-Étang de Berre est ainsi la zone industrielle la plus importante de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Paca), regroupant sur plusieurs sites un important complexe pétrochimique et sidérurgique. Les industries émettent de nombreux polluants atmosphériques qui en font une des zones les plus polluées en France, malgré l'instauration de normes de plus en plus contraignantes et les progrès techniques réalisés par les industriels qui ont permis une diminution des rejets depuis 20 ans.

Ces émissions polluantes sont la cause de nombreuses interrogations de la part de la population, des élus et d'associations de médecins dont la principale attente est de connaître les effets de la pollution atmosphérique d'origine industrielle sur l'état de santé des résidents.

La Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire) Sud a été saisie, en 2005, par la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales des Bouches-du-Rhône (Ddass)¹ afin d'évaluer la faisabilité de conduire une étude épidémiologique concernant les effets de la pollution atmosphérique sur la santé des personnes vivant dans la zone de l'Étang de Berre.

Après un premier bilan de l'existant et des données disponibles réalisé en 2006, la Cire Sud, en collaboration avec le Département santé environnement de l'Institut de veille sanitaire (InVS), a mené une étude descriptive sur les hospitalisations pour mettre en évidence un éventuel excès d'hospitalisations pour les pathologies cardio-vasculaires, respiratoires ou cancéreuses dans la zone de l'Étang de Berre et, s'il existe, pour identifier une association entre les variations géographiques de l'exposition aux polluants traceurs de la pollution industrielle et des hospitalisations sélectionnées.

Méthodes

Une étude descriptive écologique de la morbidité hospitalière pour les pathologies cardio-vasculaires, respiratoires et pour cancer a été menée sur la période 2004-2007.

L'étude a porté sur les pathologies susceptibles d'être liées à une exposition à la pollution atmosphérique. Les indicateurs d'hospitalisation ont été construits à partir des données du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) : huit indicateurs pour pathologies cardio-vasculaires, six pour les pathologies respiratoires et sept pour les cancers.

L'exposition des populations dans la zone d'étude a été estimée par modélisation en utilisant les niveaux de polluants attribués aux zones urbanisées de chacune des 27 communes à l'échelle du code postal. Un niveau moyen d'exposition pour l'année 2008, seule année disponible, a été attribué à chaque commune. Le SO₂ a été retenu comme polluant traceur de la pollution industrielle. Les niveaux moyens annuels du polluant ont été regroupés en trois classes d'exposition : référence (inférieurs à 4,2 µg/m³) ; moyenne (compris entre 4,2 et 6,4 µg/m³) et élevée (supérieurs à 6,4 µg/m³).

Les hospitalisations ont été décrites en fonction de l'âge et du sexe pour chacun des indicateurs définis précédemment. Les nombres de cas observés dans la zone de l'Étang de Berre pour les différents indicateurs retenus ont été comparés aux nombres attendus sous l'hypothèse de taux d'hospitalisation standardisés par âge égaux à ceux de la région Paca.

La relation entre les indicateurs sanitaires et l'indicateur d'exposition a été étudiée par une analyse de corrélation géographique par régression de Poisson, prenant en compte deux facteurs de confusions potentiels, l'indice de Townsend et la proportion d'ouvriers hommes ainsi que la surdispersion des données. Dans cette étude, la surdispersion a été contrôlée d'abord par un modèle de régression surdispersé, puis par un modèle bayésien hiérarchique, le modèle « somme » proposé par Besag. Des risques relatifs et leur intervalle de crédibilité à 95 % ont été calculés par rapport au niveau d'exposition de référence.

¹ Les Ddass sont devenues les Directions territoriales (DT) de l'Agence régionale de santé (ARS) depuis le 1^{er} avril 2010.

L'analyse a été conduite séparément pour les hommes et les femmes. Tous les indicateurs ont été analysés chez les adultes de 15 ans et plus et seuls les indicateurs de pathologies respiratoires ont été étudiés aussi chez les enfants.

Résultats

La zone d'étude, située sur le pourtour de l'Étang de Berre, compte 399 362 habitants et regroupe l'ensemble des communes pouvant être impactées de façon notable par la pollution atmosphérique provenant des installations industrielles du pourtour de l'Étang de Berre et des communes moins ou non impactées.

Les séjours pour pathologies cardio-vasculaires sont globalement plus fréquents chez les hommes avec un sex-ratio variant de 1,2 pour les hospitalisations pour toutes pathologies cardio-vasculaires à 2,4 pour les infarctus du myocarde. Les hospitalisations pour pathologies respiratoires concernent autant les femmes que les hommes à l'exception des broncho-pneumopathies chroniques obstructives (BPCO) plus fréquentes chez ces derniers. Les hospitalisations pour certaines localisations cancéreuses comme les leucémies aiguës, les cancers du poumon, de la vessie et le mésothéliome pleural concernent plutôt les hommes.

Les ratios standardisés d'hospitalisations (SHR) pour causes cardio-vasculaires varient de 0,94 à 1,56 et les trois quarts des communes de la zone d'étude présentent un ratio supérieur à 1 soulignant une fréquence plus élevée de ces hospitalisations qu'au niveau de la région Paca. Les SHR pour causes respiratoires sont compris entre 0,78 et 1,54, les plus élevés étant retrouvés pour les BPCO chez les hommes, principalement dans les communes situées à l'est de l'Étang de Berre et autour de Salon-de-Provence. Enfin, les SHR pour cancers toutes causes confondues, sont majoritairement inférieurs à 1, compris entre 0,83 et 1,31, mettant en évidence une fréquence équivalente de ces hospitalisations par rapport à la région Paca.

L'analyse écologique retrouve quelques résultats significatifs pour les pathologies cardio-vasculaires ou les leucémies aiguës, mais pour la majorité des indicateurs étudiés le risque d'être hospitalisés est le même pour les personnes exposées à des niveaux moyens ou élevés de pollution par le SO₂ que pour celles exposées aux niveaux de référence.

Concernant les indicateurs de pathologies cardiaques, les femmes exposées à des niveaux moyens ou élevés de SO₂ ont respectivement 38 et 54 % d'excès de risque d'être hospitalisées pour un infarctus du myocarde (IDM) par rapport à celles exposées aux niveaux de référence. Cet excès de risque significatif (26 %) est aussi retrouvé pour les hommes, mais uniquement pour ceux exposés à des niveaux élevés. Par ailleurs, les hospitalisations pour ischémie cardiaque et IDM ne sont pas liées significativement au niveau socio-économique des communes.

Les adultes ou les enfants exposés à des niveaux moyens ou élevés de pollution par le SO₂ ne sont pas plus hospitalisés pour des pathologies respiratoires que ceux exposés au niveau de référence. Les hospitalisations des enfants sont par contre liées significativement à un niveau socio-économique défavorisé de la commune.

Pour les cancers, seul le risque d'être hospitalisé pour une leucémie aiguë est 2,5 fois plus élevé chez les hommes exposés à des niveaux de SO₂ élevés par rapport à ceux exposés aux niveaux de référence. Ce risque n'est pas retrouvé chez les femmes.

Conclusions

Cette étude a mis en évidence un excès d'hospitalisations pour IDM chez les femmes dans les communes ayant des niveaux moyens annuels de SO₂ supérieurs à 4 µg/m³ et chez les hommes dans les communes les plus impactées. Aucun excès d'hospitalisation pour pathologies respiratoires ou pour cancers n'a été observé dans les communes exposées à la pollution industrielle à l'exception des leucémies aiguës chez les hommes pour les communes les plus impactées.

Compte tenu des limites inhérentes à toute étude de corrélation écologique et à la réalisation de tests multiples, il n'est pas impossible que ces résultats soient dus au hasard ou que certains facteurs de risques individuels non pris en compte dans cette étude puissent expliquer les excès d'hospitalisations observés.

Toutefois, si l'on met en perspective ces résultats avec la situation locale, un faisceau d'éléments cohérents nous conduisent à considérer ces résultats comme des effets sanitaires plausibles du mélange de polluants issus des industries et des autres émetteurs présents sur la zone d'étude.

1. Contexte et objectifs

1.1. Contexte local autour de l'Étang de Berre

Le pourtour de l'Étang de Berre est une zone densément peuplée, où de nombreuses industries ont été installées depuis plus de 50 ans. La zone Fos-Étang de Berre est ainsi la zone industrielle la plus importante de la région Paca, regroupant sur plusieurs sites un important complexe pétrochimique et sidérurgique. Les industries émettent de nombreux polluants atmosphériques qui en font une des zones les plus polluées en France, malgré l'instauration de normes de plus en plus contraignantes et les progrès techniques réalisés par les industriels qui ont permis une diminution des rejets depuis 20 ans [1].

Ces émissions polluantes sont la cause de nombreuses interrogations de la part de la population, des élus et d'associations de médecins dont la principale attente est de connaître les effets de la pollution atmosphérique d'origine industrielle sur leur état de santé. Les industriels, cherchant la transparence dans ce domaine, sont aussi favorables à la mise en place d'une étude précise sur le sujet, mais veulent qu'elle tienne compte de toutes les sources de polluants atmosphériques de la zone. Les enjeux autour de cette question de santé sont nombreux et vont au-delà de la santé publique : enjeux réglementaires, économiques et politiques [1].

Un premier bilan réalisé en 2006 faisait état d'une mortalité élevée notamment en population générale pour les pathologies respiratoires et l'ischémie cardiaque dans quelques cantons du pourtour de l'Étang de Berre et d'une surmortalité par cancer de la vessie, du poumon et de la plèvre chez les hommes du bassin d'emploi de Fos-sur-Mer par rapport à la métropole [1]. Par ailleurs, de nombreuses études épidémiologiques nationales et internationales ont montré qu'à court terme, la pollution atmosphérique entraînait une augmentation des décès anticipés et des hospitalisations pour causes respiratoires et cardio-vasculaires, notamment chez les personnes fragilisées par la présence de maladies chroniques [2-5]. Sur le long terme, les effets de la pollution de l'air sont plus difficiles à établir en raison surtout des difficultés à évaluer l'exposition des individus à la pollution sur de longues périodes. Une augmentation de la mortalité cardio-respiratoire et de la mortalité par cancer du poumon en lien avec l'exposition chronique à la pollution atmosphérique a été rapportée dans certaines études [6-8].

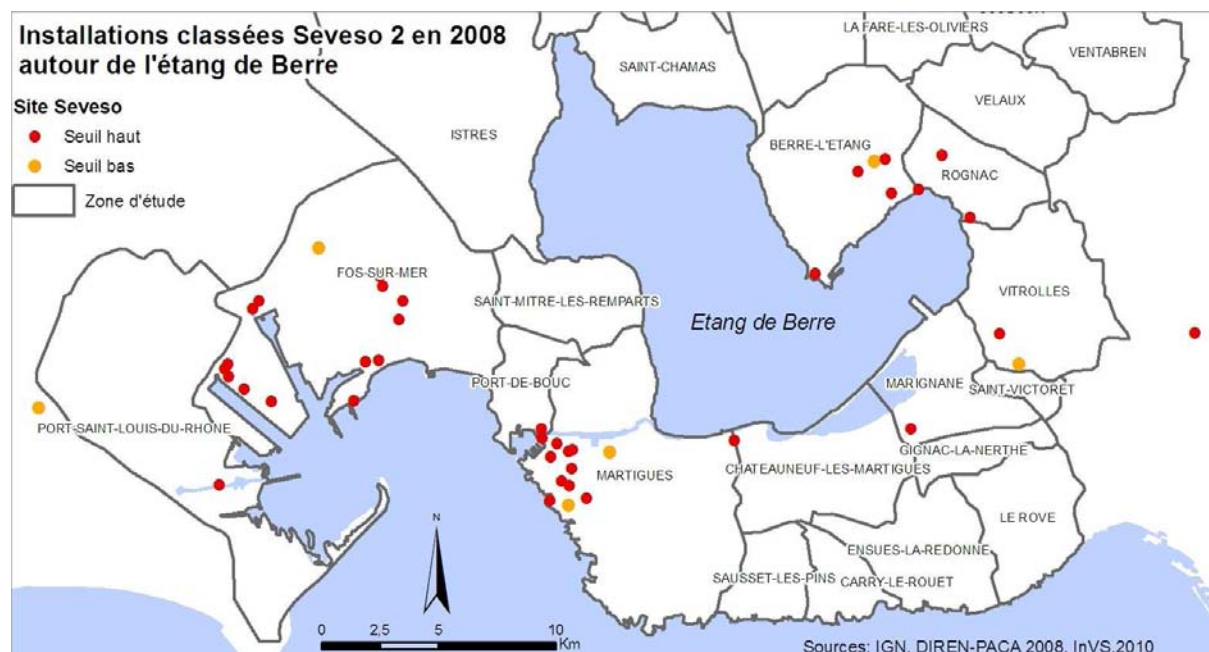
1.1.1. Sources et émissions de polluants

Le territoire de l'Étang de Berre est une zone industrielle où se concentrent plus de 430 installations classées pour la protection de l'environnement et plus de 60 % des établissements classés Seveso II « seuil haut » que compte la région Paca (figure 1). Parmi ces établissements Seveso II, plus de la moitié (59 sur 82) sont dits « à seuil haut » parce qu'ils utilisent et stockent des matières dangereuses. Les principaux secteurs d'activités concernés sont le raffinage pétrolier (Total, Esso...), la chimie organique (Naphtachimie, Arkema, Ineos...), la sidérurgie (Ferifos, Arcelormittal...) et la construction aéronautique (Eurocopter, Dassault Aviation) [9,10].

La majorité des industries est regroupée sur quatre sites principaux : Berre-l'Étang, Fos-sur-Mer et Port-Saint-Louis-du-Rhône, le quartier de Lavéra à Martigues et celui de la Mède à Châteauneuf-les-Martigues.

I Figure 1 I

Établissements classés Seveso de la zone Fos-Étang de Berre, 2008



Source : Direction régionale de l'environnement – mai 2008.

Les émissions liées au trafic routier, maritime et aérien sont également importantes en raison des nombreuses infrastructures présentes sur le territoire de l'Étang de Berre.

Ce territoire est traversé par un réseau routier et autoroutier particulièrement dense qui supporte un fort trafic de poids lourds lié aux flux interrégionaux et aux dessertes des zones industrielles, du grand port maritime de Marseille (GPM) et de l'aéroport Marseille-Provence. Plus localement, les populations des villes se déplacent durant la journée pour leur trajet domicile-travail. Le GPM, 1^{er} port français et 4^e port européen, dispose d'importants terminaux, notamment pour le transport d'hydrocarbures (60,7 % du trafic français en 2008) et de marchandises. L'aéroport de Marseille-Provence, situé à Marignane, est le 3^e aéroport de France pour le transport de voyageurs (près de 7 millions de passagers en 2008) et de marchandises.

Dans cette zone urbanisée, le secteur résidentiel et tertiaire est aussi responsable d'émissions polluantes liées principalement aux installations de chauffages et de climatisation des habitations et des bureaux.

Les principaux polluants émis autour de l'Étang de Berre sont le dioxyde de soufre (SO_2), le monoxyde et le dioxyde d'azote (NO et NO_2), les particules et les métaux lourds qu'ils contiennent (Arsenic (As), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) et Plomb (Pb)), le monoxyde et le dioxyde de carbone (CO et CO_2) et les composés organiques volatils non méthaniques (COV_{nm}) dont le benzène [11].

Les rapports du Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique [12] et de l'étude Escompte réalisée par l'Association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air (Aasqa) Atmo Paca [13] montrent l'importance des rejets de ces polluants autour de l'Étang de Berre par rapport au reste de la région Paca et la place prépondérante de l'origine industrielle. La zone de l'Étang de Berre et de l'ouest des Bouches-du-Rhône représente à elle seule près de 80 % des émissions en SO_2 et PM_{10} du département, 70 % des émissions de $\text{PM}_{2,5}$ et 60 % des émissions de NO_x et COV_{nm} . Les principales sources émettrices pour l'ensemble des composés sont l'industrie, la production et la distribution d'énergie.

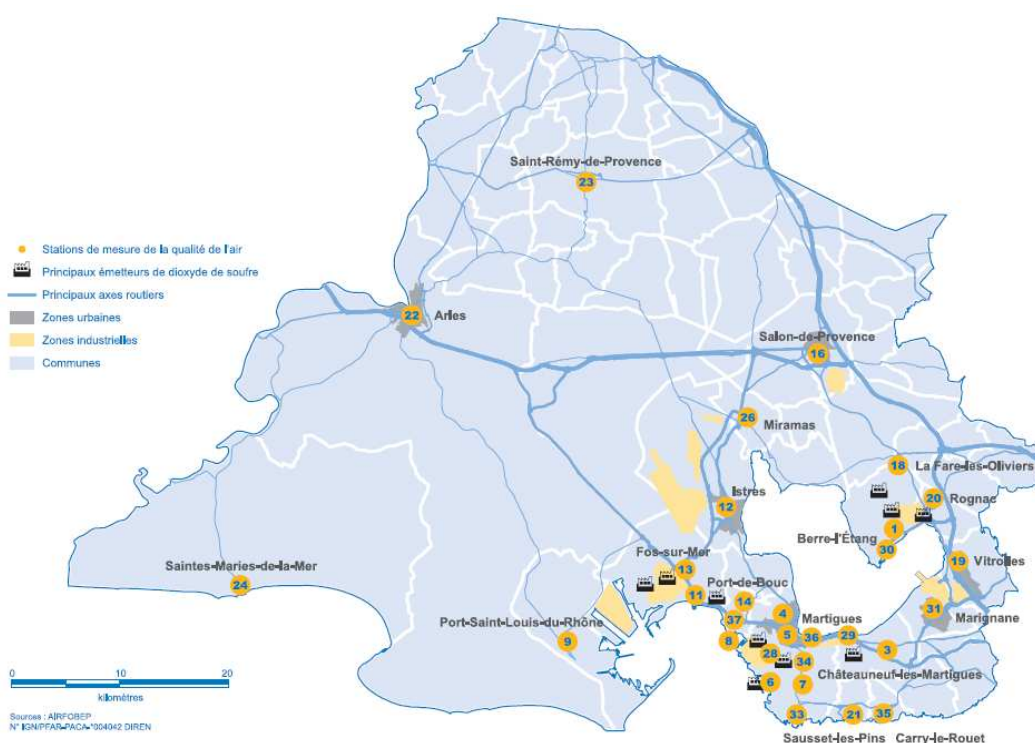
1.1.2. Qualité de l'air

La surveillance de la qualité de l'air de l'ouest du département des Bouches-du-Rhône est assurée par Airfobep, une des premières Aasqa, créée en 1972. Elle repose, en 2008, sur un réseau de 30 stations fixes (figure 2) dont 27 sur la zone de Fos-Étang de Berre qui mesurent en continu : le SO₂, l'ozone (O₃), le NO₂, les particules en suspension (PM₁₀), le CO et le benzène.

Ce dispositif est complété par des mesures en discontinu à l'aide de stations mobiles ou par des campagnes de mesures temporaires sur une zone et par des estimations à partir de modélisations sur des zones dépourvues de stations de mesures pour les polluants suivants : NO₂, benzène, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et métaux lourds (As, Cd, Ni et Pb).

I Figure 2 I

Localisation des stations de mesures fixes d'Airfobep en 2008



Le bilan de la surveillance de la qualité de l'air de l'ouest des Bouches-du-Rhône [14], assurée par l'association Airfobep indique que :

- les niveaux de SO₂ mesurés sont les plus élevés de la région Paca même s'ils diminuent régulièrement depuis plusieurs années. En 2008, toutes les stations de la zone d'étude ont dépassé le seuil de recommandation de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) de 20 µg/m³ en maxima des concentrations moyennes journalières. Concernant la pollution de pointe, 62 dépassements de ce seuil répartis sur 44 jours ont été observés. En revanche, les valeurs limites pour la protection de la santé et les seuils d'alerte n'ont pas été atteints ;
- les concentrations en PM₁₀ se stabilisent, mais des dépassements des valeurs réglementaires subsistent que ce soit pour la pollution de fond ou de pointe. En 2008, la moitié des stations dépassaient l'objectif de qualité de 30 µg/m³ et une station a atteint la valeur limite de protection pour la santé ;
- les concentrations en NO_x restent modérées sans dépasser les valeurs réglementaires, comme pour les métaux lourds et les HAP ;

- l'objectif de qualité de l'air ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$) est dépassé à proximité des sites industriels pour le benzène ;
- de nombreux dépassements des niveaux réglementaires concernant l'ozone sont observés chaque année explicable par l'importance des émissions de précurseurs de l'ozone et de l'ensoleillement de la région.

Ces éléments sont cohérents avec les résultats du programme Aigrette rendus publics en 2009, dont l'objectif était de fournir une image précise de la situation environnementale des espaces naturels et urbains [15]. Cette étude commanditée par le Syndicat d'agglomération nouvelle (SAN) Ouest-Provence² a été réalisée par le Bureau des recherches géologiques et minières.

La partie consacrée à la pollution de l'air a pris en compte 23 polluants dont les niveaux ont été documentés par les données du réseau Airfobep et par des campagnes de mesures spécifiques. Les niveaux de particules (PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$) étaient élevés sur plusieurs communes. Les niveaux établis par modélisation étaient souvent inférieurs aux niveaux mesurés, ce qui pourrait s'expliquer en partie par le fait que seules les particules primaires ont été prises en compte dans la modélisation alors que, sur la zone, les particules secondaires représenteraient une part importante de ce polluant. Les niveaux de SO_2 étaient proches des seuils réglementaires à Fos-sur-Mer, sans toutefois les dépasser.

1.1.3. Connaissances sanitaires locales récentes

Les connaissances sur l'état de santé de la population de la zone d'étude révèlent, pour la décennie 1990, une surmortalité pour certaines pathologies (cancer de la vessie) pour certains cantons de la zone [1,16] et une consommation d'antiasthmatiques élevée par rapport au reste du département [17].

Une étude réalisée sur des enfants scolarisés en primaire âgés de 10-11 ans a mis en évidence un excès de symptômes bronchiques et oto-rhino-laryngologiques (ORL) en lien avec une augmentation des niveaux moyens journaliers de SO_2 et de NO_2 [18]. Par ailleurs, une étude sur l'atopie chez les mêmes enfants a montré que, dans ces communes, environ 20 % des enfants enquêtés souffraient de rhume des foins, 11 % de rhinite per annuelle et 10 % d'asthme. En revanche, elle n'a retrouvé aucune relation significative entre la prévalence de l'atopie et les concentrations atmosphériques en différents polluants [19].

Des études sanitaires plus récentes comme les différentes évaluations de risque sanitaire de zone et les données produites par l'Observatoire régional de la santé (ORS) en Paca ont permis de compléter et d'actualiser les connaissances locales sur l'état de santé de la population.

Évaluations de risques sanitaires de zones (ERSZ)

Les ERSZ portant sur l'ensemble d'un bassin industriel sont de plus en plus souvent réalisées pour prendre en compte l'impact de l'ensemble des sources de pollutions. L'objectif d'une évaluation de risque sanitaire (ERS) est la mise en place de mesures de gestion environnementale ou sanitaire permettant de prévenir les impacts futurs sur la santé des populations et cela sans attendre les résultats d'une éventuelle étude épidémiologique. Les ERS permettent de délimiter les zones géographiques soumises aux émissions, et d'établir un inventaire le plus exhaustif possible des polluants émis sur ces zones.

Ces études de zone ne s'inscrivent pas dans un cadre réglementaire, mais sont généralement proposées pour répondre à un signal environnemental ou sanitaire ou à une demande sociétale. Des ERSZ ont été mises en place sous la coordination de la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Paca dès 2003 autour des principaux sites industriels (Berre-l'Étang [20], la zone industrialo-portuaire (ZIP) de Fos-sur-Mer [21] et Lavéra-La Mède [22]). Les résultats des études sur la ZIP de Fos-sur-Mer et sur la zone de Berre-l'Étang ont été publiés en 2008 et sont disponibles sur le site internet du Secrétariat permanent pour les problèmes de pollution industrielle (<http://www.spppi-paca.org>).

Les différentes ERSZ ont mis en évidence des polluants dont les émissions doivent être diminuées sur les domaines d'études de Fos-sur-Mer et Lavéra (le SO_2 et les particules en suspension) et d'autres

² Le SAN Ouest-Provence est constitué des communes de Fos-sur-Mer, Istres, Port-Saint-Louis-du-Rhône, Miramas, Grans, Cornillon-Confoux.

devant être diminuées au niveau des sites industriels et faire l'objet d'une surveillance environnementale : le chrome VI et le 1,2-dichloroéthane sur les zones de Fos-sur-Mer et Lavéra, ainsi que le benzène et le 1,3-butadiène sur la zone de Berre-l'Étang et dans une moindre mesure à Lavéra. Des indices de risques cancérogènes supérieurs au seuil de référence³ ont été retrouvés pour les zones de Berre-L'Étang et de Lavéra.

Des mesures de gestions des émissions ont déjà été mises en place suite à ces études et devraient permettre une diminution des indices de risques dans les années à venir.

Données par territoires de proximité de l'ORS en Paca

Des données de mortalité et d'hospitalisation disponibles à l'échelle des territoires de proximité sont fournies par l'ORS Paca (Sirsé Paca : <http://www.sirsepaca.org>). Le territoire de proximité de Martigues qui regroupe sept communes (Port-Saint-Louis-du-Rhône, Fos-sur-Mer, Port-de-Bouc, Martigues, Châteauneuf-les-Martigues, Saint-Mitre-les-Remparts et Istres) correspond à la partie ouest et sud du pourtour de l'Étang de Berre.

Par rapport à la région Paca, le territoire de Martigues présente une surmortalité par cancers toutes causes confondues et cancer de la plèvre chez les hommes, pour la période 2000-2004 et un excès d'hospitalisations toutes causes confondues ainsi que pour causes cardio-vasculaires et respiratoires chez les hommes et les femmes pour la période 2004-2005. Aucune différence n'est observée pour la mortalité toutes causes, pour causes cardio-vasculaires ou pour causes respiratoires et les hommes sont aussi moins fréquemment hospitalisés pour un cancer.

En conclusion, les différentes études locales récentes mettent en lumière certains polluants dont les niveaux restent élevés sur le pourtour de l'Étang de Berre comme le SO₂ du fait des phénomènes de panaches et des épisodes aigus ou les particules du fait de la coexistence de sources industrielles et d'un trafic routier important. Certains polluants industriels comme le benzène, le 1,2-dichloroéthane et dans une moindre mesure le chrome VI nécessitent une surveillance de leurs émissions au niveau des sites industriels et des mesures de gestion du fait de leur cancérogénicité avérée ou possible pour l'homme. De plus, certains indicateurs sanitaires, notamment ceux concernant la morbidité hospitalière cardio-vasculaire et respiratoire, apparaissent plus élevés comparativement à la région Paca.

En revanche, l'examen des indicateurs de mortalité ou de morbidité hospitalière pour cancer, qui sont souvent au cœur des préoccupations de la population, conclut à un état de santé comparable à la population de la région à l'exception du cancer de la plèvre chez l'homme dont l'origine est plutôt liée à l'environnement professionnel.

Dans son dernier rapport sur l'état de santé et les inégalités en Paca, l'ORS observe que « les zones d'activité industrielle de l'ouest de la région se distinguent par des indicateurs de santé défavorables qui reflètent probablement les expositions anciennes à des pollutions d'origine industrielle » [23].

1.2. Objectifs de l'étude

La Cire Sud a été saisie, en 2005, par la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (Ddass)⁴ des Bouches-du-Rhône afin d'évaluer la faisabilité de conduire une étude épidémiologique concernant les effets de la pollution atmosphérique sur la santé des personnes vivant dans la zone de l'étang de Berre.

Dans l'inventaire des données de santé, seules les données de mortalité, d'hospitalisation et de consommations médicamenteuses pouvaient être disponibles en routine pour toutes les communes

³ Le seuil de référence de 10⁻⁵ signifie que le risque de cancer en lien avec la pollution actuelle est de 1 pour 100 000 habitants.

⁴ Les Ddass sont devenues les Directions territoriales (DT) de l'Agence régionale de santé (ARS) depuis le 1^{er} avril 2010.

de la région Paca et donc celles du pourtour de l'Étang de Berre. La Cire Sud a donc initié une étude épidémiologique descriptive et écologique sur les hospitalisations qui fait l'objet de ce rapport

Cette étude s'est attachée à déterminer si un excès d'hospitalisations pouvait être identifié pour les pathologies cardio-vasculaires, respiratoires ou cancéreuses dans la zone de l'Étang de Berre. Une étude descriptive transversale des patients hospitalisés entre 2004 et 2007 a tout d'abord été conduite. Elle a ensuite été complétée par une étude de corrélation écologique géographique pour mettre en évidence une association éventuelle entre les variations géographiques de l'exposition aux polluants traceurs de la pollution industrielle présente sur la zone d'étude et les hospitalisations pour certaines pathologies cardio-vasculaires, respiratoires ou cancéreuses.

2. Méthodes

Un comité technique piloté par la Cire Sud et constitué de représentants de l'Agence régionale de santé (ARS), de l'association agréée de surveillance pour la qualité de l'air (Airfobep), d'associations de citoyens, de l'association de médecins Association santé environnement France (Asef) et d'experts cliniciens a validé le choix des indicateurs et des méthodes retenues tout au long de l'étude. Les experts de l'InVS ont été consultés pour la méthodologie et sollicités pour l'analyse statistique, la caractérisation de l'exposition et la réalisation des cartographies.

2.1. Définition de la période d'étude

Le choix de la période d'étude a été guidé par la disponibilité des données d'hospitalisation et la possibilité de pouvoir identifier correctement les différents séjours d'un même patient par un système dit de « chaînage ».

Lors de la mise en place du Programme de médicalisation du système d'information (PMSI) dans les établissements privés en 1997, les résumés émanant de ces établissements mentionnaient un numéro dit « de sécurité sociale » permettant le chaînage des séjours d'un même patient. À partir du 1^{er} janvier 2001, pour toute admission en secteur de court séjour (médecine-chirurgie-obstétrique (MCO)), que l'établissement hospitalier soit public, participant au service public hospitalier ou privé, une procédure de chaînage anonyme des séjours permettant de relier entre elles les différentes hospitalisations d'un même patient devait être mise en œuvre⁵.

L'exhaustivité du chaînage, satisfaisante en 2002, s'était nettement améliorée en 2003, mais c'est en 2004 que l'algorithme de constitution du numéro anonyme a été modifié de manière à permettre le chaînage des informations issues du PMSI avec celles issues des bases de données de l'Assurance maladie. De ce fait les séjours des années 2002 et 2003 ne pouvaient plus être chaînés avec ceux des années suivantes.

La période d'étude choisie commence donc en 2004, première année de disponibilité du nouvel algorithme de chaînage et se termine en 2007, dernière année de disponibilité des données au démarrage de l'étude fin 2008.

2.2. Définition de la zone d'étude

Une zone d'étude regroupant l'ensemble des communes pouvant être impactées de façon notable par la pollution atmosphérique provenant des installations industrielles du pourtour de l'Étang de Berre et des communes moins ou non impactées, a été constituée.

L'option choisie était de déterminer les communes à inclure à partir d'un système d'information géographique (SIG) calculant les valeurs moyennes d'exposition au PM₁₀ et au SO₂. Dans cette optique, des données cartographiques de niveaux de fond pour les PM₁₀ et de SO₂ pour l'année 2008 ont été fournies par Airfobep, (figures 3 et 4). Ces cartographies n'étaient pas disponibles pour la période d'étude 2004-2007. Des données cartographiques d'ozone étaient aussi disponibles, mais les niveaux étaient les mêmes sur toute la zone d'étude. Airfobep ne nous a pas proposé de cartographie pour des composés organiques volatiles (COVnm).

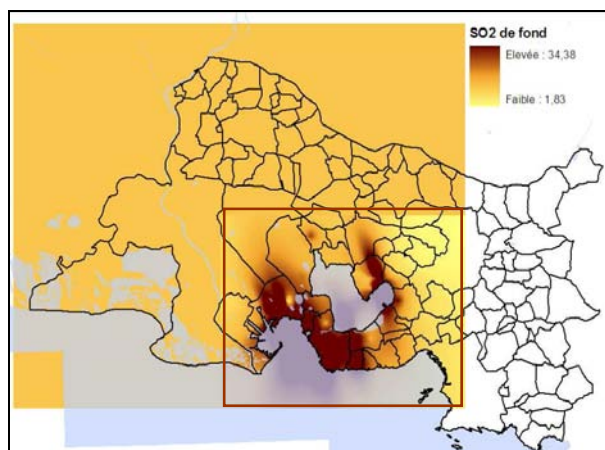
Le domaine de définition des cartographies n'était pas le même pour le SO₂ (figure 3) et les PM₁₀ (figure 4). La dimension de la grille de dispersion du SO₂ était plus restreinte que celle des particules et a été définie aux limites d'utilisation de l'outil de modélisation. Hors de cette grille et pour des

⁵ Circulaire DHOS PMSI N°106 du 22 février 2001 relative au chaînage des séjours en établissements hospitaliers.

valeurs annuelles, le réseau Airfobep considérait que les panaches industriels n'avaient plus d'impact et que les valeurs estimées aux bords de la grille de calcul étaient valables pour le reste du domaine. Mais en l'absence de modélisation sur les communes hors de la grille, nous n'avons retenu que les communes incluses dans la grille de dispersion du SO₂ (rectangle marron sur la figure 3).

I Figure 3 I

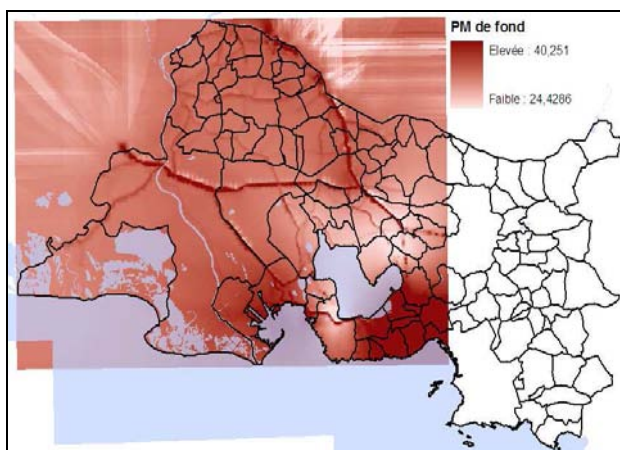
Cartographie des niveaux de fond de SO₂, ouest des Bouches-du-Rhône, 2008



Source : Airfobep 2008, InVS 2010.

I Figure 4 I

Cartographie des niveaux de fond de PM₁₀, ouest des Bouches-du-Rhône, 2008



Source : Airfobep 2008, InVS 2010.

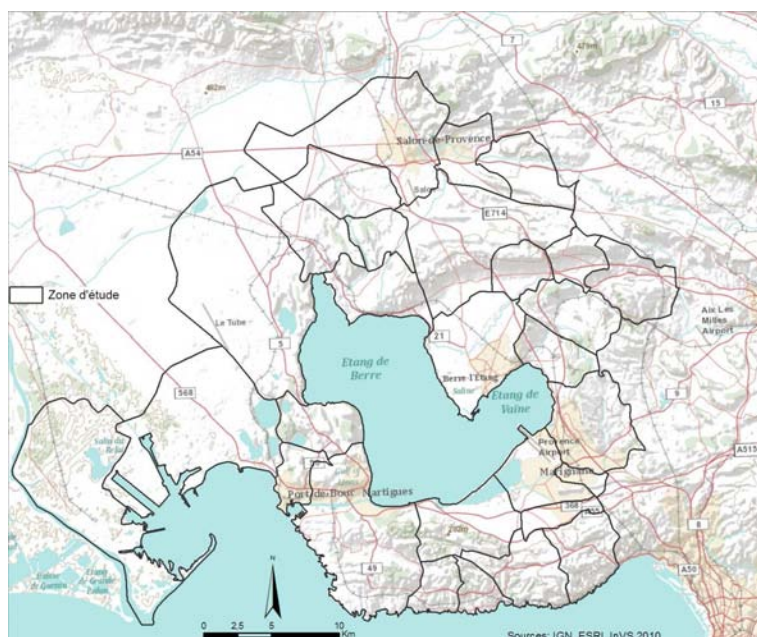
La zone d'étude a donc été définie en tenant compte des limites de définition de la modélisation du SO₂ et des critères topographiques suivants, les différents reliefs du département des Bouches-du-Rhône (figure 5) :

- vers Arles et à l'ouest, les communes sont plutôt tournées vers le Gard et le Vaucluse et sont séparées de la zone de l'Étang de Berre par le massif des Alpilles ;
- au nord-ouest, les communes sont aux confins du massif du Luberon ;
- au nord d'Aix-en-Provence se trouve la montagne Sainte-Victoire et les communes d'Aix-en-Provence et de Marseille sont séparées par la chaîne de l'Etoile.

Tous ces massifs délimitent des bassins de vie, et probablement de pollution, assez distincts. Il semblait donc difficile de délimiter une zone d'étude plus étendue que celle des 29 communes proposées.

I Figure 5 I

Topographie de la zone de l'Étang de Berre



La zone d'étude située sur le pourtour de l'Étang de Berre regroupe 29 communes et comptait 399 362 habitants au recensement de 2006 (figure 6).

I Figure 6 I

Communes de la zone d'étude de l'Étang de Berre



2.3. Estimation du niveau moyen annuel d'exposition aux PM₁₀ et au SO₂ par communes

L'objectif de l'utilisation du SIG était d'obtenir une valeur d'exposition par commune à partir des données de modélisation d'Airfobep relatives à la qualité de l'air autour de l'Étang de Berre. Il a permis de superposer les grilles, les contours des communes de la zone d'étude (limites administratives), la couche d'occupation du sol et les photographies aériennes pour le contexte urbain.

2.3.1. Données de pollution modélisées

Les données ont été fournies, pour l'année 2008, par Airfobep pour les niveaux de fond de PM₁₀ et de SO₂. Les grilles de modélisation finales sont au pas de 200 mètres.

Les modélisations ont été réalisées avec la plateforme de modélisation Vigipol dont le fonctionnement est détaillé dans la note méthodologique consultable sur le site Internet d'Airfobep (http://www.airfobep.org/docs/vigipol_assimilation_rapport_methodo_airfobep_0510.pdf).

Dioxyde de soufre

Les cartographies des niveaux moyens annuels de SO₂ de fond (2.2, figure 3) sont issues d'une modélisation présentant les différentes étapes suivantes :

1. les moyennes annuelles sur la zone sont simulées par un modèle de dispersion gaussien ADMS4 avec les caractéristiques suivantes :
 - grille de travail : taille 54 x 40 km² et de résolution 500 mètres,
 - données d'entrée d'émissions : émissions industrielles moyennes annuelles (année 2008),
 - données d'entrée de météo heure par heure en 2008 : station Notre-Dame-des-Marins (direction et vitesse de vent, température), station de la Crau (rayonnement solaire) et station de Port-de-Bouc-Castillon (humidité relative),
 - le relief n'est pas pris en compte (impact faible pour ce type de simulation),
 - la rugosité est fixée à 0,2 sur toute la zone d'étude,
 - les valeurs estimées aux points de la grille sont une moyenne des simulations sur chaque heure de l'année 2008 ;
2. les valeurs issues de la dispersion sont ensuite retraitées par une méthode géostatistique (krigeage) pour assimiler les données de mesures des stations de l'année 2008 et permettre ainsi d'obtenir des grilles modélisées au pas de 200 m.

Les concentrations moyennes annuelles modélisées de SO₂ de fond sont comprises entre 1,8 et 34 µg/m³. Celles mesurées par les stations présentes sur la zone d'étude sont comprises entre 2 et 18 µg/m³ et cette fourchette de valeurs est assez proche des valeurs modélisées, sachant qu'au point de mesure d'Airfobep, les valeurs mesurées et modélisées sont identiques puisque la modélisation est calée sur les données mesurées.

Particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀)

Les cartographies des niveaux moyens annuels de PM₁₀ de fond (2.2, figure 4) sont issues d'une modélisation présentant les caractéristiques suivantes :

1. simulation de la dispersion des particules réalisée au moyen du modèle ADMS-Urban :
 - grille de travail : trois grilles de travail différentes ont été utilisées sur le domaine de définition (annexe 1),
 - données d'entrée d'émissions : inventaire des émissions réalisé en 1999, grandes sources ponctuelles (cheminées), sources linéiques (axes routiers), sources surfaciques

ou volumiques (émissions diffuses) ainsi que du cadastre 1999 (sources non explicites, naturelles et anthropiques),

- données d'entrée de météo pour l'année 2008 : réseaux de mesures d'Airfobep et de Météo-France (stations d'Istres, Marignane et Salon),
 - calcul de la pollution de fond non prise en compte dans l'inventaire : estimation statistique à partir des mesures du réseau Airfobep (année 2008) ;
2. le biais moyen entre les simulations et les mesures a été estimé à l'aide des données de l'historique (année 2007). Ce biais est appliqué aux données de modélisation en tenant compte de la gamme de concentration concernée ;
 3. une interpolation géostatistique est réalisée sur les données de modélisation ajustées par la pollution de fond et le biais.

Les concentrations moyennes annuelles modélisées de PM_{10} de fond sont comprises entre 24 et 40 $\mu g/m^3$. Celles mesurées par les stations présentes sur la zone d'étude sont comprises entre 27 et 33 $\mu g/m^3$. Comme précédemment les fourchettes de valeur sont assez proches.

2.3.2. Découpage du territoire selon les codes géographiques du PMSI

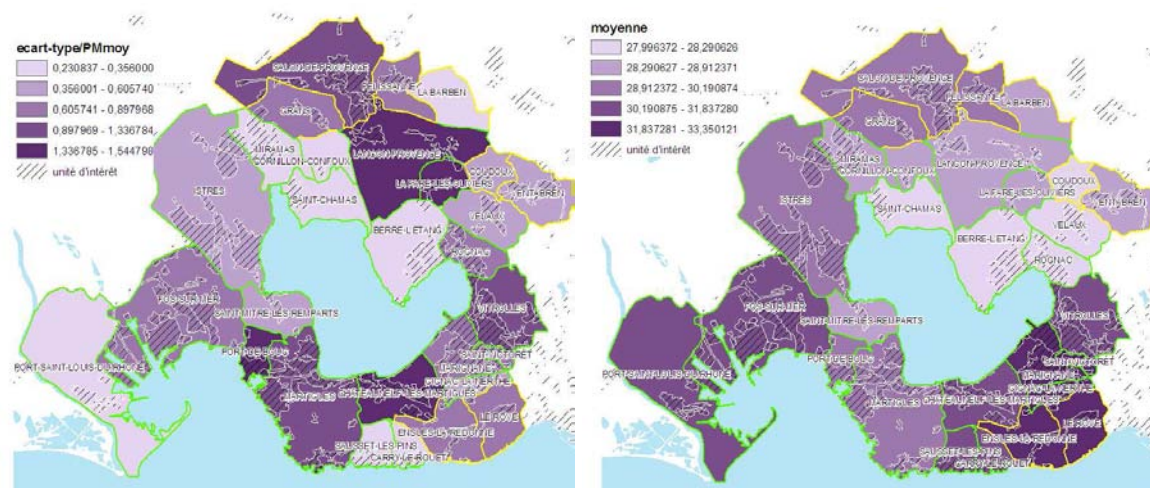
Les données d'hospitalisations ne sont pas disponibles au niveau du code communal défini par l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). Le codage de la résidence du patient hospitalisé (code géographique PMSI) correspond, en général, au découpage des codes postaux. Pour pouvoir cartographier les données de santé, quatre communes ayant des codes postaux communs deux à deux ont été fusionnées : Pélissanne et La Barben ainsi que Cornillon-Confoux et Saint-Chamas (2.2, communes hachurées sur la figure 6). Le SIG comprenait donc finalement 27 polygones ou communes PMSI au lieu de 29 précédemment.

2.3.3. Construction des valeurs d'exposition dans le SIG

La résolution des modélisations de l'exposition était fine, les points par commune étaient très nombreux (de 113 à 2 859 points). Pour obtenir une valeur d'exposition par commune, une première approche aurait été de calculer la moyenne des valeurs d'exposition pour chaque commune. Mais les valeurs d'exposition pouvaient varier à l'intérieur d'une commune et plus la distribution des concentrations par communes était dispersée par rapport à la moyenne - c'est-à-dire plus la commune est foncée sur la cartographie des écart-types (figures 7 et 8) - plus la dilution de l'information était élevée.

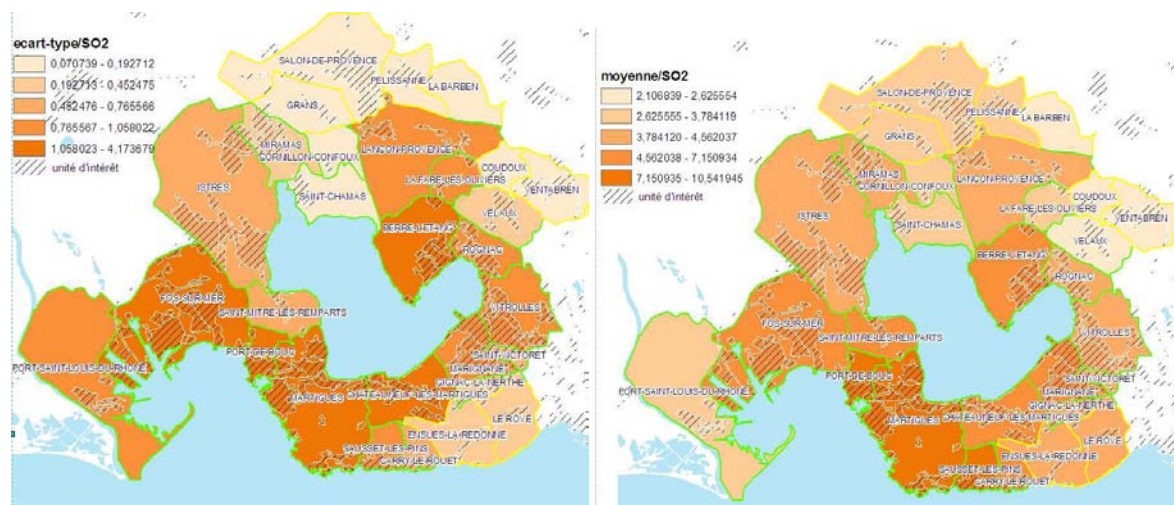
I Figure 7 I

Écart-types et moyenne des valeurs par communes pour les niveaux de fond de PM₁₀, 2008



I Figure 8 I

Écart-types et moyenne des valeurs par communes pour les niveaux de fond de SO₂, 2008



Pour limiter cet effet de dilution, des valeurs d'exposition moyenne ont été calculées sur les zones urbaines élargies ou zones urbanisées (ZU) comprenant les zones d'habitation et les zones d'activité de chacune des communes PMSI. La base de données Corine Land Cover 2006 (CLC2006) permet de localiser les zones habitées et urbanisées de façon plus large à partir des 11 postes de classification détaillés dans le tableau 1.

I Tableau 1 I

Postes de classifications retenus pour les zones urbanisées

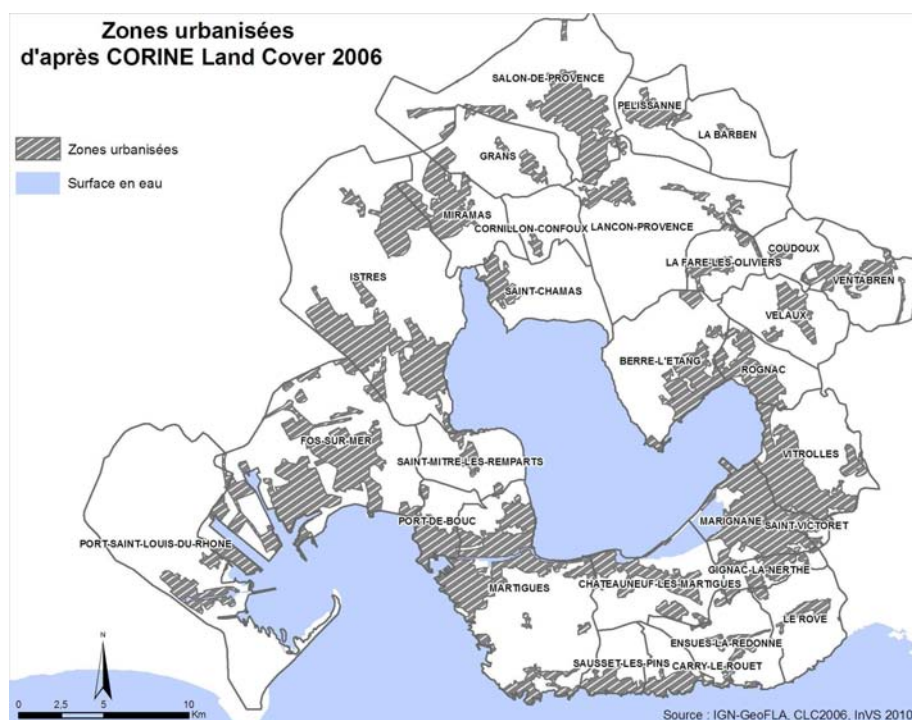
Postes de classifications	Dénominations
111	Tissu urbain continu
112	Tissu urbain discontinu
121	Zones industrielles et commerciales
122	Réseau routier et ferroviaire et espaces associés
123	Zones portuaires
124	Aéroports
131	Extraction de matériaux
132	Décharges
133	Chantiers
141	Espaces verts urbains
142	Equipements sportifs et de loisirs

Source : nomenclature CLC 2006.

Les zones hachurées dans la figure 9 représentent la ZU de chaque commune à partir de laquelle a été calculée la valeur d'exposition.

I Figure 9 I

Représentation des « zones urbanisées » autour de l'étang de Berre



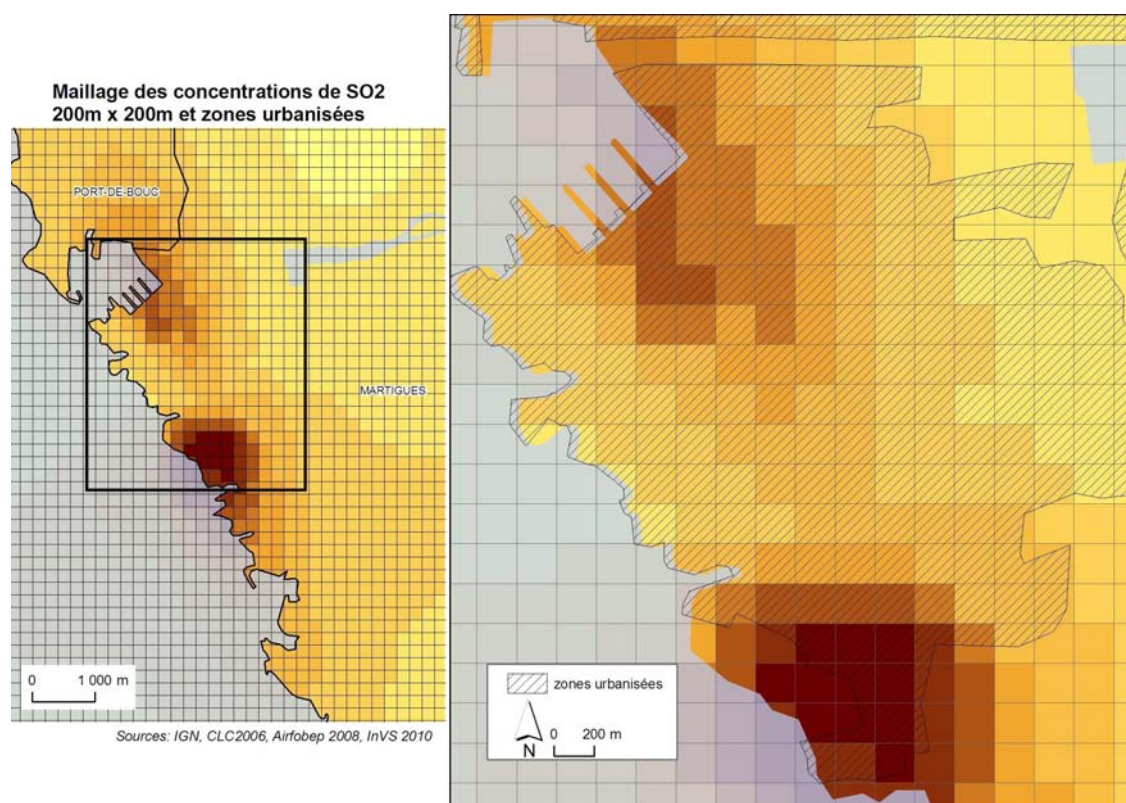
Les valeurs modélisées sur les grilles (résolution de 200 mètres) couvrant les 29 communes de l'étude regroupées en 27 polygones ont été utilisées pour estimer la concentration moyenne annuelle pour chaque polygone de la zone d'étude.

Cette estimation a été réalisée par la méthode de pondération par la surface : pour chaque zone urbanisée, les concentrations moyennes de PM_{10} et de SO_2 ont été estimées en calculant la moyenne des valeurs modélisées pondérée par la surface d'intersection des mailles avec les zones urbanisées (figure 10).

Cette valeur d'exposition par zone urbanisée est attribuée à chaque polygone pour la représentation cartographique et pour l'analyse statistique.

I Figure 10 I

Maillage des concentrations de SO_2 par 200m x 200m et zoom sur les zones urbanisées



2.4. Construction des indicateurs d'hospitalisations

2.4.1. Le Programme de médicalisation de l'information (PMSI)

Chaque hospitalisation en court séjour de MCO génère la création d'un résumé de sortie standardisé (RSS) contenant des informations médico-administratives et constitué d'un ou de plusieurs résumés d'unité médicale (RUM) ordonnés chronologiquement selon le nombre d'unités médicales fréquentées par le patient au cours de son hospitalisation. Les informations médicales du RUM, codées à la fin du séjour dans l'unité médicale, comprennent le diagnostic principal⁶ (DP), les diagnostics associés⁷ (DA) et les actes médicaux effectués au cours du séjour.

⁶ Diagnostic considéré par le médecin responsable du malade à la fin de son séjour dans une unité médicale comme ayant mobilisé l'essentiel de l'effort médical et soignant.

⁷ Affections associées au diagnostic principal, complications de celui-ci ou de son traitement.

À partir de l'année 2000, trois types de DA ont été définis : le diagnostic relié, les diagnostics associés significatifs et les diagnostics associés documentaires⁸. Les pathologies sont codées, depuis 1997, selon la 10^e révision de la classification internationale des maladies (CIM10). Les actes sont codés selon la classification commune des actes médicaux qui est la classification de référence depuis 2004.

Chaque RSS est classé dans un groupe homogène de malades (GHM) selon un algorithme décisionnel permettant d'orienter les séjours dans un seul GHM. La classification des GHM fait l'objet d'actualisations régulières. Le diagnostic principal du RSS correspond au diagnostic principal du RUM en cas de séjour mono-unité. Pour les séjours multi-unités, un algorithme décisionnel sélectionne un des DP des différents RUM.

Pour des raisons de confidentialité, les RSS sont transformés en résumés de sortie anonymes (RSA) avant d'être transmis aux tutelles. Les bases régionales de RSA sont centralisées afin de constituer la base nationale des RSA disponible auprès de l'Agence technique de l'information sur l'hospitalisation.

2.4.2. Choix des indicateurs de pathologies étudiées

Cette étude est centrée sur les pathologies en lien avec la pollution atmosphérique et ne prend pas en compte les autres types de pollution pouvant être rencontrées autour de l'Étang de Berre, pollution liée à l'exposition professionnelle ou aux sols notamment. Une revue de la littérature a permis de mettre en évidence que les hospitalisations pour pathologies respiratoires et cardio-vasculaires sont les plus étudiées, que ce soit pour une exposition aiguë ou chronique à la pollution atmosphérique. Les hospitalisations liées à des pathologies cancéreuses sont plus souvent étudiées pour évaluer l'effet à long terme d'une exposition chronique à la pollution de l'air.

Parmi, les indicateurs cardio-vasculaires les plus souvent analysés, la définition des indicateurs de pathologies cardiaques, ischémies cardiaques et maladies vasculaires cérébrales est consensuelle dans les différentes études publiées [3,5,24]. Les différents codes diagnostics utilisés pour construire les indicateurs concernant l'infarctus du myocarde [25-28] et les troubles du rythme [29-31] sont listés dans le tableau 2a en annexe 2.

La définition des indicateurs de pathologies respiratoires, d'asthme et de pneumopathies est la même dans les différentes études publiées [3,24,32]. Pour les hospitalisations pour broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) [24;32-35;37] et pour infections respiratoires [24,35,36], les définitions des indicateurs sont variables selon les études et sont référencées en annexe 2 (tableau 2a et figure 2a).

Les études concernant les liens entre pollution de l'air et mortalité ou hospitalisation pour pathologies cancéreuses sont beaucoup moins fréquentes et ont concerné essentiellement les cancers pulmonaires. Des études plus nombreuses ont été réalisées en milieu professionnel, mais elles sont difficilement transposables à la population générale. Le choix des indicateurs de pathologies cancéreuses s'est basé sur le rapport produit par l'InVS en 2006 concernant les cancers prioritaires à surveiller en lien avec l'environnement [38]. Les localisations citées par ordre d'importance sont les tumeurs du système nerveux central, le cancer du poumon, le lymphome malin non hodgkinien (LMNH), le cancer de la vessie, le mésothéliome pleural et les leucémies. L'expertise collective « Cancers et environnement », publiée par l'Inserm en 2008, a aussi été consultée [39]. Les auteurs ont analysé l'impact de l'environnement sur neuf localisations cancéreuses dont l'incidence avait augmenté en 2005 (prostate, sein, poumon, thyroïde, hémopathies malignes, mésothéliome, testicule, tumeurs cérébrales, cancer de l'enfant).

Au final, huit indicateurs d'hospitalisation pour pathologies cardio-vasculaire, six pour pathologies respiratoires et sept pour pathologies cancéreuses ont été sélectionnés par le comité technique et sont listés dans le tableau 2.

⁸ Le diagnostic relié (DR) est un diagnostic permettant « d'éclairer le contexte pathologique essentiellement lorsque le DP n'est pas en lui-même une affection ». Les diagnostics associés significatifs (DAS) permettent de prendre en compte la notion de pathologie « active », « significative » ou « modifiant la prise en charge ». Les DAS qualifient le séjour du patient et sont les seuls DA retenus dans le RSA. Les diagnostics associés à visée documentaire (DAD) sont tous les diagnostics ne rentrant pas dans la définition des DAS. Les DAD qualifient le patient.

I Tableau 2 I

Définition des indicateurs d'hospitalisation retenus pour l'étude

Indicateurs d'hospitalisation	Codes des séries sélectionnés (CIM10)
Cardio-vasculaires	
Pathologies cardio-vasculaires	I00 à I99 en DP
Pathologies cardiaques	I00 à I52 en DP
Cardiopathies ischémiques	I20 à I24 en DP
Cardiopathies ischémiques associées à un trouble du rythme cardiaque	I20 à I24 en DP et I44 à I49 en DA
Infarctus du myocarde	I21 à I22 en DP
Accidents vasculaires cérébraux	I60 à I64 et G45 à G46 en DP
Accidents vasculaires cérébraux ischémiques	I63 à I64 et G45 en DP
Troubles du rythme cardiaque	I44 à I49 en DP
Respiratoires	
Pathologies respiratoires	J00 à J99 en DP
Infections respiratoires	J04 à J06, J10 à J18 et J10 à J22 en DP
Pneumopathies	J10 à J18 en DP
Asthme	J45 à J46 en DP
Broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO)	J41-J44 en DP
Exacerbations de BPCO	Indicateur principal (figure 1, annexe 1)
Cancéreuses	
Cancer primitif des bronches et du poumon	C33 à C34 en DP
Leucémies aiguës	C910; C920; C924; C925; C930; C942; C943; C950 en DP
Lymphome malin non hodgkinien (LMNH)	C82 à C85 en DP
Myélome multiple	C90 en DP
Tumeurs de la vessie	C67 en DP
Cancer du sein	C50 en DP
Mésothéliome pleural	C45 en DP

2.4.3. Modalités de sélection des séjours étudiés

Les données des années 2004 à 2007 ont été utilisées pour l'étude. Elles ont été extraites de la base nationale du PMSI à partir des critères suivants : séjours hors séances pour la période 2004-2007, ayant un code géographique de résidence dans la région Paca et pour lesquelles existaient en diagnostic principal, relié ou associé un code commençant par I ou G45-G46 ou J ou C. Trois bases de données distinctes ont été créées :

- hospitalisations pour causes cardio-vasculaires comportant un code de pathologie cardio-vasculaire (codes CIM10 : I00 à I99 et G45-G46) en DP ;
- hospitalisations pour causes respiratoires comportant un code de pathologie respiratoire (codes CIM10 : J00 à J99) en DP ;
- hospitalisations pour causes cancéreuses comportant un code de pathologie cancéreuse (codes CIM10 : C00 à C99 et D00 à D09) en DP.

Comme l'étude concernait les personnes résidentes et hospitalisées dans la région Paca, les séjours effectués dans des établissements hors région ont été exclus, à l'exception de ceux des départements du Gard, de l'Hérault, du Rhône, de la Drôme et de l'Isère, du fait d'une attractivité non négligeable exercée par certains établissements sur les résidents de communes limitrophes. De plus, les séjours comportant un code géographique imprécis (codé 13999) ont été exclus, car ils ne permettaient pas de classer ces séjours dans la zone d'étude.

Certains patients avaient changé de lieu de résidence au cours de la période d'étude, déménageant dans d'autres communes du département ou de la région et inversement. Les séjours de ces patients ont été exclus.

Le numéro identifiant anonyme unique pour chaque patient était bien renseigné sur la période d'étude par les établissements sélectionnés à l'exception de trois établissements (Institut Arnault Tzanck, Hôpital d'Arles et Clinique mutualiste d'Ollioules). Afin de pouvoir par la suite identifier tous les séjours d'un patient, les séjours hospitaliers avec un numéro identifiant manquant ou erroné ont été exclus.

Le respect des différents critères cités précédemment a conduit à exclure environ 4 % de séjours cardio-vasculaires et respiratoires et 3 % de séjours pour cancers sur les données initiales de la région Paca (tableau 3).

I Tableau 3 I

Nombre de séjours validés pour les hospitalisations cardio-vasculaires, respiratoires et cancéreuses, Paca, PMSI 2004-2007

	Hospitalisations pour pathologies		
	Cardio-vasculaires	Respiratoires	Cancéreuses
Nombre de séjours initiaux	504 482	236 210	259 752
Nombre de séjours exclus dont	20 301	8 954	7 757
<i>Séjours hors Paca et départements limitrophes</i>	6 285	2 909	3 306
<i>Séjours avec code géographique imprécis</i>	429	217	218
<i>Séjours de patients ayant changé de zone</i>	1 306	370	312
<i>Séjours avec numéro d'identification non conforme</i>	12 281	5 458	3 921
Total des séjours	484 181	227 256	251 995

Dans les données du PMSI, le nombre de séjours comptabilisé ne correspond pas au nombre de patients hospitalisés, certains d'entre eux pouvant être admis plusieurs fois pour la même pathologie au cours de la période d'étude.

Ainsi, environ 16 % des patients présentant une pathologie respiratoire ont été réadmis au cours de la période d'étude, voire moins de 10 % pour ceux souffrant d'une pneumopathie. Alors que pour les patients présentant une pathologie cardio-vasculaire, environ 35 % des patients ont été hospitalisés plusieurs fois, cette proportion variant de 12 % pour un accident vasculaire cérébral ischémique à 38 % pour une pathologie cardiaque. Cependant, les réadmissions les plus fréquentes ont concerné les patients atteints de pathologies cancéreuses. Environ 40 % des patients ont été admis plusieurs fois pour une pathologie cancéreuse, cette proportion variant de 20 % pour les mésothéliomes pleuraux à 46 % pour les leucémies aiguës (figures 3a, 3b et 3c en annexe 3).

L'objectif était de comptabiliser un nombre de personnes hospitalisées par indicateur sanitaire sur la période d'étude et de s'affranchir d'un possible effet majorant dus aux réadmissions. Ainsi le premier séjour de chaque patient survenu au cours de la période 2004-2007 et correspondant à une pathologie retenue pour construire les indicateurs étudiés a été sélectionné. En l'absence de date d'entrée dans les données du RSA, l'algorithme de sélection a retenu, pour chaque numéro identifiant, le premier des séjours ordonnés selon l'année, le mois, le mode d'entrée décroissant et le mode de sortie.

Au cours de la période 2004-2007 dans la région Paca, 306 823 patients ont été hospitalisés pour une cause cardio-vasculaire, 173 134 pour une cause respiratoire et 148 063 pour un cancer (annexe 4). Les données concernant la zone d'étude ont été sélectionnées à partir des données de la région Paca et représentaient respectivement pour les mêmes causes d'hospitalisations 26 108, 16 107 et 10 116 patients.

2.5. Facteurs de confusion

Les inégalités sociales sont actuellement au cœur des débats sur la santé. Plusieurs études ont montré que les populations défavorisées économiquement présentaient plus de problèmes de santé. Ces populations avaient en général un accès aux soins limité et une moins bonne hygiène de vie que les populations aisées. Elles étaient aussi soumises à des conditions de travail plus difficiles et étaient donc susceptibles de développer des maladies professionnelles [40,41]. L'influence du contexte résidentiel est aussi suggérée, les quartiers à faible niveau socio-économique présentant un état de santé plus mauvais [42]. Certaines études se sont intéressées à l'interaction exposition et statut socio-économique (SES) ainsi qu'à l'effet modificateur du SES [43-46]. Les conclusions de Deguen *et al* [45] et Laurent *et al* [44] vont dans le même sens : les populations défavorisées, bien qu'elles ne soient pas toujours plus exposées, semblent plus sensibles aux effets de la pollution de l'air à cause d'une plus grande vulnérabilité.

Deux facteurs de confusion pouvant être liés à la fois à l'exposition et à la santé ont été retenus pour l'analyse : l'indice de Townsend et la proportion d'ouvriers.

2.5.1. Indice de défaveur sociale

Les caractéristiques socio-économiques de chaque commune PMSI ont été résumées par un indice de défaveur sociale, l'indice de Townsend [47], construit à partir de quatre variables du recensement 2006 :

- la proportion de chômeurs dans la population active (V1) ;
- la proportion de résidences principales occupées par plus d'une personne par pièce (V2) ;
- la proportion de résidences principales dont le ménage occupant n'est pas propriétaire (V3) ;
- la proportion de ménages sans voiture (V4).

Cet indice a été calculé pour l'ensemble de la région Paca avec des variables centrées-réduites par rapport aux valeurs régionales. Puis les valeurs des communes constituant la zone d'étude ont été utilisées dans l'analyse. Les valeurs élevées indiquent une situation socio-économique défavorisée et les valeurs basses une situation plutôt favorisée.

2.5.2. Catégories socioprofessionnelles

Les catégories socioprofessionnelles des hommes et des femmes actifs de 15 à 64 ans ont été obtenues à partir des données du recensement 2006 de l'Insee pour les catégories suivantes : agriculteurs exploitants ; artisans, commerçants et chefs d'entreprises ; cadres et professions intellectuelles supérieures ; professions intermédiaires ; employés ; ouvriers. Compte-tenu de la problématique industrielle prépondérante dans la zone d'étude, nous avons choisi de retenir dans les modèles, comme facteur de confusion, la proportion d'ouvriers pour chaque commune PMSI.

2.6. Analyse statistique

Analyse descriptive

Les séjours ont été décrits en fonction de l'âge et du sexe pour chacun des indicateurs d'hospitalisations définis précédemment.

Les nombres d'hospitalisations observées dans la zone de l'Étang de Berre pour les différents indicateurs retenus ont été comparés aux nombres attendus sous l'hypothèse de taux d'hospitalisation standardisés par âge égaux à ceux de la région Paca. Le ratio d'hospitalisation standardisé (SHR) correspondant au rapport nombre de cas observés sur nombre de cas attendu est présenté sous

forme de cartes. La gestion et l'analyse des données ont été réalisées avec les logiciels ACCESS[®] 2003 et SPSS[®].

Analyse de corrélation écologique spatiale

Le principe de ces études est de rechercher un lien statistique entre des variations spatiales d'exposition et d'indicateur(s) de santé au sein d'une population, à un moment donné. Les populations doivent être aussi semblables que possible pour ce qui est des facteurs de confusion "collectifs" (statut socio-économique par exemple), mais différentes pour ce qui est des niveaux d'exposition aux polluants atmosphériques.

La relation entre les indicateurs sanitaires et les indicateurs d'exposition a été étudiée en effectuant une analyse de corrélation géographique par régression de Poisson, prenant en compte deux facteurs de confusions potentiels, l'indice de Townsend et la proportion d'ouvriers hommes, et la surdispersion des données. La surdispersion est définie par une variabilité du nombre de cas supérieure à celle attendue par la loi de Poisson. Le test de Potthoff-Whittinghill [48] permet de tester l'existence d'une hétérogénéité spatiale globale en termes de surdispersion.

Dans les études de corrélation écologique, le contrôle des facteurs de confusion permet généralement de réduire la surdispersion et l'autocorrélation. Si ces dernières persistent après ajustement, il faut contrôler cette variation extra-poissonnienne par l'application de modèles appropriés (modèles à effets aléatoires, modèles bayésiens hiérarchiques).

Dans cette étude, la surdispersion a été contrôlée d'abord par un modèle de régression surdispersé, puis par un modèle bayésien hiérarchique, le modèle « somme » proposé par Besag *et al* [49]. Ce modèle partage le risque résiduel en un effet aléatoire non spatial et un effet spatialement structuré qui suit un modèle gaussien autorégressif conditionnel. Le critère de proximité retenu est celui de l'adjacence, c'est-à-dire que deux unités étaient considérées comme voisines si elles avaient une frontière commune. Dans un contexte bayésien, l'intervalle de crédibilité au niveau 5 % est un intervalle tel que la probabilité qu'a le paramètre de lui appartenir est de 95 %.

L'analyse a été conduite séparément pour les hommes et les femmes et réalisée avec les logiciels R et WinBUGS[®].

3. Résultats descriptifs de la zone d'étude située autour de l'Étang de Berre

3.1. Caractéristiques sociodémographiques de la zone d'étude

3.1.1. Démographie de la population

D'après les données du recensement de la population de l'année 2006 produit par l'Insee, la zone d'étude compte 399 962 habitants. La population est relativement jeune avec une proportion de personnes âgées de 65 ans et plus inférieure à celle de la région (14,8 % vs 19 %) (annexe 5, tableau 5a).

Les 29 communes de la zone ne sont pas toutes densément peuplées et n'ont pas le même poids démographique. La densité de population varie de 31 habitants/km² pour la commune de La Barben à 1 594 habitants/km² pour la commune de Port de Bouc. Pour l'ensemble de la zone, la densité de population est de 410 habitants/km², ce qui est supérieur à la moyenne régionale (153 habitants/km²).

3.1.2. Caractéristiques sociales

La zone du pourtour de l'Étang de Berre n'est, dans sa globalité, pas particulièrement défavorisée sur le plan socio-économique par rapport à la région Paca. Le revenu médian annuel par foyer fiscal est de 21 879 euros un peu plus élevé que celui de la région Paca (19 601 euros). La proportion de population couverte par la couverture maladie universelle complémentaire est plus faible dans notre zone d'étude (5,8 %) que dans la région (6,7 %). Le taux d'activité est de 60,2 % contre 59,5 % en région Paca et le taux de chômeur est de 13 % au même niveau que celui de la région. Mais il existe une hétérogénéité selon les communes comme le montre la répartition des catégories socioprofessionnelles et de l'indice de Townsend décrits ci-après.

Catégories socioprofessionnelles (CSP)

La répartition des actifs selon leurs catégories socioprofessionnelles donne une indication sur l'importance de l'industrie, sur la zone d'étude. La proportion d'ouvriers (37 %) prédomine chez les hommes actifs de la zone d'étude (tableau 4). Les femmes appartiennent majoritairement à la catégorie des employées (52 %).

I Tableau 4 I

Catégories socioprofessionnelles des hommes actifs par commune PMSI, recensement 2006

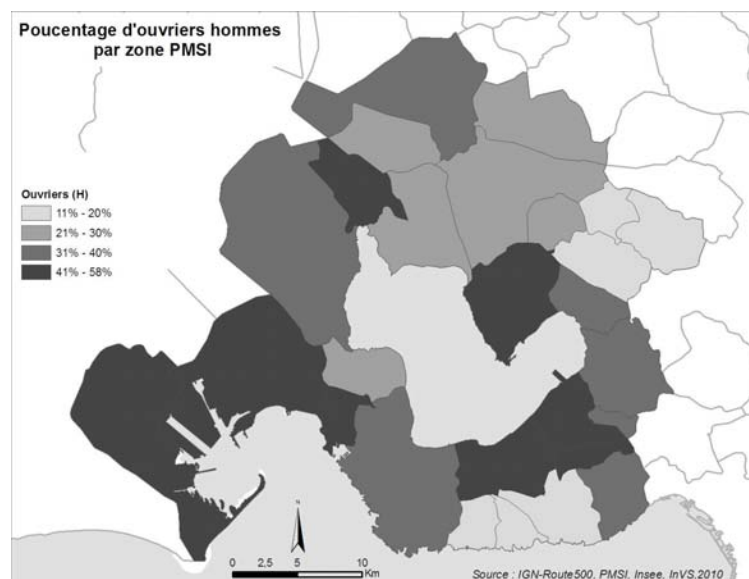
	Proportion pour la zone d'étude	Minimum	P25	Médiane	P75	Maximum
Agriculteurs exploitants	1 %	0 %	0 %	1 %	1 %	4 %
Artisans, commerçants et chefs d'entreprises	7 %	0 %	6 %	7 %	10 %	15 %
Cadres et professions intellectuelles supérieures	15 %	0 %	11 %	18 %	26 %	43 %
Professions intermédiaires	27 %	2 %	26 %	27 %	29 %	33 %
Employés	14 %	1 %	11 %	12 %	14 %	19 %
Ouvriers	37 %	11 %	26 %	33 %	41 %	58 %

Source : Insee chiffres clés - Recensement 2006.

La répartition des CSP est très variable selon les communes mettant en évidence une grande hétérogénéité dans cette zone avec des communes plutôt ouvrières (communes en gris foncé sur la figure 11) d'une part et des communes plutôt résidentielles pour les cadres (Ventabren, Carry-le Rouet et Sausset-les-Pins) d'autre part (données par communes en annexe 5 – tableau 5b).

I Figure 11 I

Proportion d'ouvriers hommes par zone géographique PMSI



Indice de Townsend

Les caractéristiques socio-économiques de chaque commune ont été résumées par un indice de défaveur sociale, l'indice de Townsend. Les valeurs élevées indiquent une situation socio-économique relativement défavorisée et les valeurs basses une situation plutôt favorisée. Ces valeurs sont comprises entre -3,5 à Coudoux et 7,9 à Port-de-Bouc (tableau 5). Les communes du nord de la zone d'étude sont plutôt favorisées et les communes sur lesquelles sont implantés les sites industriels sont plutôt défavorisées, à l'exception de la commune de Fos-sur-Mer (figure 12).

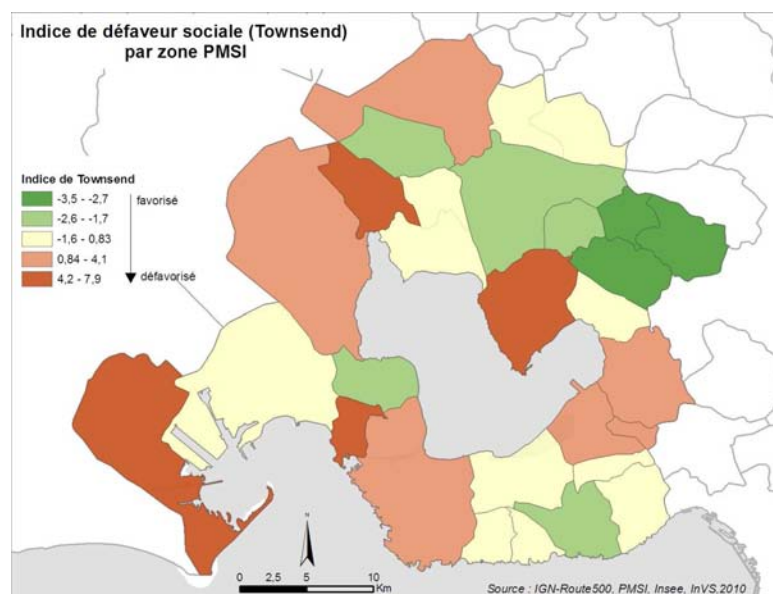
I Tableau 5 I

Distribution de l'Indice de Townsend par commune PMSI

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	P25	Médiane	P75	Maximum
Indice Townsend	0,9	3,1	-3,5	-1,9	0,5	3,8	7,9

I Figure 12 I

Indice de Townsend par commune PMSI



3.2. Caractérisation de l'exposition

La distribution des niveaux des indicateurs d'exposition retenus est résumée dans le tableau 6. Les valeurs de l'indicateur PM_{10} sont comprises entre 27,9 et 33,6 $\mu g/m^3$ avec une moyenne annuelle de 29,8 $\mu g/m^3$ sur la zone d'étude et celles de l'indicateur SO_2 sont comprises entre 2,1 et 12,4 $\mu g/m^3$ avec une moyenne annuelle de 4,4 $\mu g/m^3$. La variabilité des mesures est plus importante pour le SO_2 .

I Tableau 6 I

Distribution des concentrations moyennes annuelles estimées ($\mu g/m^3$) de SO_2 et de PM_{10} , communes PMSI, 2008

Indicateur de pollution	Moyenne	Minimum	P20	P40	P60	P80	Maximum
PM_{10}	29,8	27,9	28,8	29,3	30,8	32,2	33,6
SO_2	4,4	2,1	3,4	4,2	4,6	6,4	12,4

Les variations entre les différents percentiles de la distribution étant faibles de 1 à 2 $\mu g/m^3$, le contraste entre les zones n'est pas suffisant pour réaliser l'étude écologique. Les classes ont été regroupées de manière à déterminer trois classes d'exposition plus contrastées (tableau 7).

I Tableau 7 I

Classes d'exposition au SO₂ et au PM₁₀, zone d'étude, 2008

Indicateur pollution	de	Exposition de référence	Exposition moyenne	Exposition élevée
PM ₁₀		[27,9 - 29,3]	]29,3 - 32,2]	]32,2 - 33,6]
SO ₂		[2,1 - 4,2]	]4,2 - 6,4]	]6,4 - 12,4]

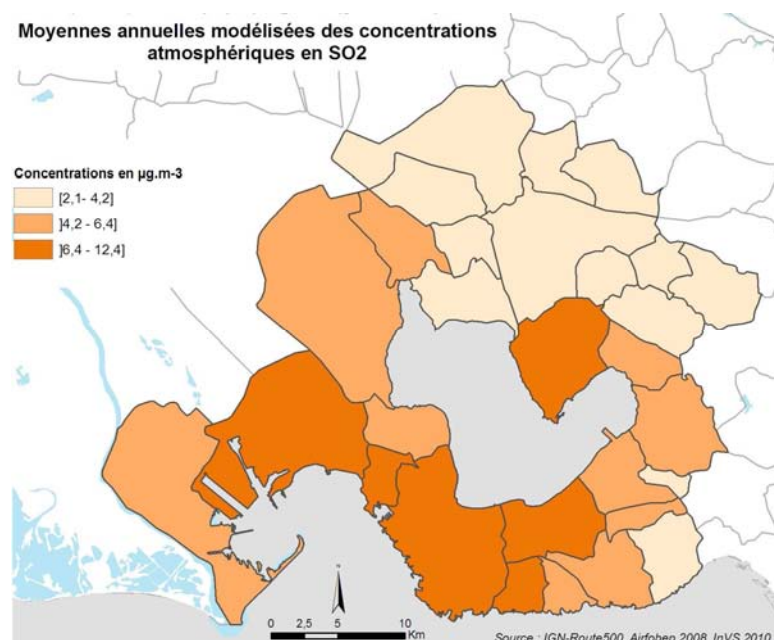
Le SO₂ semble constituer un bon traceur de la problématique industrielle. En effet, les valeurs moyennes annuelles des stations de la région Paca situées en dehors de la zone d'étude et mesurant le SO₂ sont comprises entre 1 et 4 µg/m³ et correspondent aux valeurs de la classe d'exposition de référence choisie. Sur la zone de l'Étang de Berre les valeurs moyennes annuelles des stations industrielles sont plus élevées, comprises entre 4 et 18 µg/m³ (annexe 6).

Pour les PM₁₀, la distribution des niveaux est plus homogène et moins discriminante vis-à-vis de la problématique industrielle. Les valeurs moyennes annuelles des stations de la région Paca situées en dehors de la zone d'étude et mesurant les PM₁₀ sont comprises entre 37 et 43 µg/m³ pour les stations industrielles, entre 32 et 38 µg/m³ pour les stations trafic et entre 25 et 35 µg/m³ pour les stations urbaines (annexe 6).

La distribution géographique des niveaux d'exposition par classes est représentée par la figure 13 pour l'indicateur SO₂ et par la figure 14 pour l'indicateur PM₁₀. Les niveaux élevés de SO₂ sont retrouvés pour les communes les plus industrialisées alors que les niveaux élevés de PM₁₀ sont retrouvés pour les communes situées au nord-ouest de l'agglomération marseillaise.

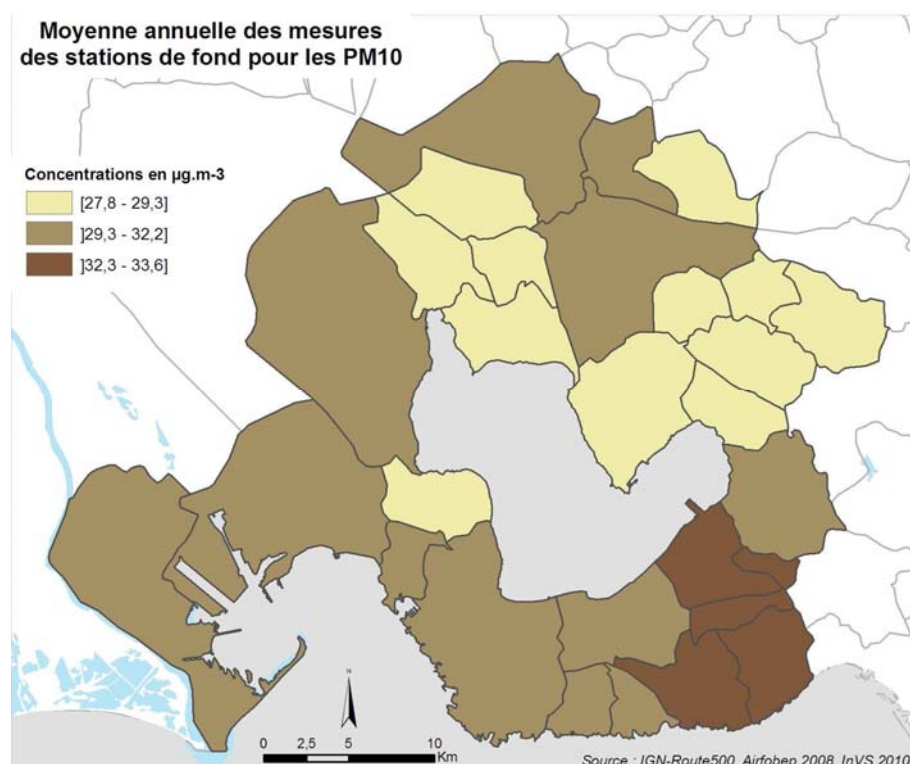
I Figure 13 I

Concentrations moyennes annuelles estimées (µg/m³) de SO₂ par commune PMSI



I Figure 14 I

Concentrations moyennes annuelles estimées ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM_{10} par commune PMSI



3.3. Description des hospitalisations dans la zone d'étude

3.3.1. Caractéristiques des hospitalisations

Le nombre et la distribution des patients hospitalisés au moins une fois pendant la période d'étude pour chaque indicateur de pathologies sont présentés dans le tableau 8. Les hospitalisations les plus fréquentes concernent les maladies cardio-vasculaires. Pour tous les indicateurs, les nombres de cas sont très variables d'une commune à l'autre.

Il faut noter le faible nombre de patients hospitalisés pour mésothéliome pleural, LMNH, myélomes multiples et leucémies aiguës. Le nombre de cas est inférieur à 10 pour environ la moitié des communes de la zone d'étude, ce qui doit conduire à une interprétation prudente des résultats de l'analyse de corrélation écologique.

Dans ce contexte, les mésothéliomes pleuraux étant peu fréquents à l'échelle de la zone d'étude (42 cas) et la moitié des cas observés étant regroupés dans quatre communes, l'étude écologique n'a pas été réalisée pour cette pathologie. Les cas sont très majoritairement des hommes ayant probablement eu une exposition professionnelle à l'amiante, ce polluant étant présent dans certaines des industries situées sur la zone d'étude. De plus, les mésothéliomes pleuraux font l'objet d'une surveillance spécifique dans certains départements de la région Paca dont les Bouches-du-Rhône dans le cadre du Programme national de surveillance des mésothéliomes (PNSM) de l'InVS et ce depuis 2004. Il pourra être fait référence aux résultats de ce registre.

I Tableau 8 I

Nombre de patients hospitalisés pendant la période d'étude par commune PMSI, pour les différents indicateurs d'hospitalisations, PMSI 2004-2007

Indicateurs d'hospitalisations	Nombre	Min	P25	P50	P75	Maximum
Cardio-vasculaires						
Toutes pathologies cardio-vasculaires	26 108	188	397	585	1 319	3 002
Pathologies cardiaques	14 506	90	200	315	752	1 729
Pathologies cardiaques ischémiques	4 684	29	71	105	258	577
Pathologies cardiaques ischémiques associées à un trouble du rythme	808	0	13	17	41	99
Infarctus du myocarde	1 545	8	19	37	93	223
Troubles du rythme	4 008	19	57	89	230	553
Accidents vasculaires cérébraux (AVC)	2 553	14	34	61	156	355
Accidents vasculaires cérébraux ischémiques	2 026	10	26	47	125	267
Respiratoires						
Toutes pathologies respiratoires	16 107	117	188	317	872	1 823
Infections respiratoires	4 574	21	51	92	287	664
Pneumopathies	2 839	15	34	57	183	394
Asthme	937	2	9	17	54	131
BPCO	1 215	1	13	25	56	173
Exacerbations de BPCO	1 213	3	13	24	69	160
Cancéreuses						
Tous cancers	10 416	89	159	249	499	1 251
Cancer du sein	1 441	14	24	34	53	183
Cancer du poumon	879	3	13	21	50	119
Cancer de la vessie	515	1	8	14	26	68
Mésothéliome pleural	42	0	0	1	2	7
Lymphome malin non hodgkinien (LMNH)	311	1	5	7	15	36
Leucémies aiguës	138	0	2	4	7	15
Myélome multiple	121	0	1	2	6	18

Répartition des hospitalisations chez les hommes et les femmes

Les séjours pour pathologies cardio-vasculaires sont globalement plus fréquents chez les hommes avec un sex-ratio variant de 1,2 pour les hospitalisations pour toutes pathologies cardio-vasculaires à 2,4 pour les infarctus du myocarde. Seuls les accidents vasculaires cérébraux sont aussi fréquents chez les hommes et les femmes.

Les hospitalisations motivées par une BPCO ou une exacerbation de BPCO sont plus fréquentes chez les hommes, le sex-ratio étant respectivement de 2,5 et 2,3 alors que les hospitalisations pour infections respiratoires, pneumopathies ou asthme, concernent les hommes comme les femmes (sex-ratio de 1 à 1,2).

Les hommes sont plus fréquemment hospitalisés pour leucémie aiguë, cancer du poumon, de la vessie et pour mésothéliome pleural (les sex-ratio sont respectivement de 1,5 ; 3,3 ; 5 et 6). Les hospitalisations pour cancers du sein sont analysées uniquement chez les femmes qui représentent 99 % des hospitalisations.

Répartition des hospitalisations selon l'âge

Les enfants de moins de 15 ans représentent plus de la moitié des patients hospitalisés pour asthme, environ un tiers de ceux hospitalisés pour infections respiratoires ou une pathologie respiratoire et seulement 15 % de ceux hospitalisés pour pneumopathies. Cette répartition étant très différente selon les indicateurs, les analyses ont été réalisées séparément pour les adultes et pour les enfants.

En revanche, les hospitalisations pour des pathologies cardio-vasculaires ou cancéreuses concernent essentiellement des adultes de 15 ans et plus, les enfants représentant moins de 1 % des patients. Par la suite, les différents résultats sont donnés pour les adultes uniquement et sont présentés séparément pour les hommes et les femmes.

3.3.2. Description des ratios standardisés d'hospitalisation

Les nombres de cas observés et attendus pour chaque indicateur sanitaire, les ratios standardisés d'hospitalisation (SHR) ainsi que la distribution des SHR (minimum, percentile 25, médiane, percentile 75, maximum) sont présentés en annexe 7.

Les ratios standardisés d'hospitalisations pour causes cardio-vasculaires varient de 0,94 à 1,38 chez les hommes et de 1,04 à 1,56 chez les femmes. Environ 75 % des communes de la zone d'étude présentent un ratio d'hospitalisation supérieur à 1 soulignant des hospitalisations cardio-vasculaires plus fréquentes dans ces communes qu'au niveau de la région Paca. Ces résultats sont aussi observés aussi pour les pathologies cardiaques, les ischémies cardiaques et les infarctus du myocarde.

Les ratios standardisés d'hospitalisations pour causes respiratoires sont compris entre 0,78 et 1,53 chez les hommes et 0,70 et 1,54 chez les femmes. Les SHR les plus élevés sont retrouvés pour les BPCO et les exacerbations de BPCO chez les hommes, principalement dans les communes situées à l'est de l'Étang de Berre et près de Salon-de-Provence.

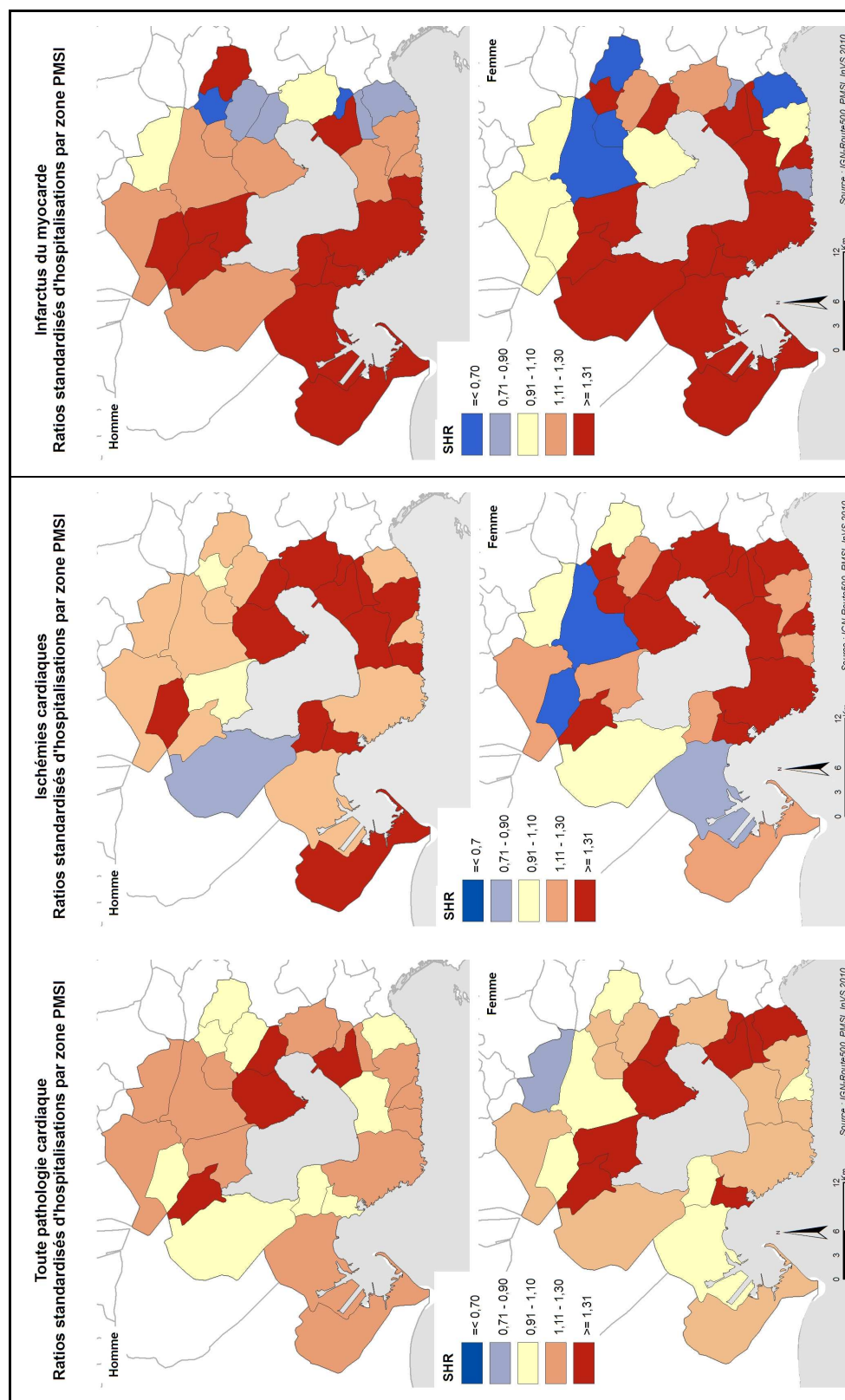
Les ratios standardisés d'hospitalisations pour cancers sont compris entre 0,83 et 1,15 chez les hommes et 0,85 et 1,31 chez les femmes. Ces SHR sont inférieurs à 1 pour plus de 75 % des communes de la zone d'étude soulignant ainsi que les hospitalisations pour cancers toutes causes confondues sont autant voire moins fréquentes dans la zone d'étude que dans la région Paca.

Les seuils retenus pour la représentation cartographique des SHR sont identiques pour toutes les pathologies dans la mesure où il s'agit toujours d'indicateurs d'hospitalisation et dans un souci de comparabilité des cartes. Ces seuils ne sont pas des quintiles de distributions (les seuils seraient alors différents pour chaque indicateur). Ils ne représentent pas des seuils de significativité par communes par rapport à la région Paca. Un risque supérieur à 1,31 ne signifie pas obligatoirement que la fréquence des hospitalisations pour l'indicateur considéré dans la commune est significativement élevée par rapport à la région Paca. De plus, le nombre de cas observés pour des risques supérieurs à 1,31 est très variable selon la pathologie concernée.

Les ratios standardisés d'hospitalisations par communes pour les pathologies cardiaques, les ischémies cardiaques et les infarctus du myocarde sont présentés dans la figure 15. Les SHR pour toutes pathologies respiratoires et les exacerbations de BPCO sont présentés dans la figure 16 et ceux pour tous cancers et leucémies aiguës sont présentés dans la figure 17.

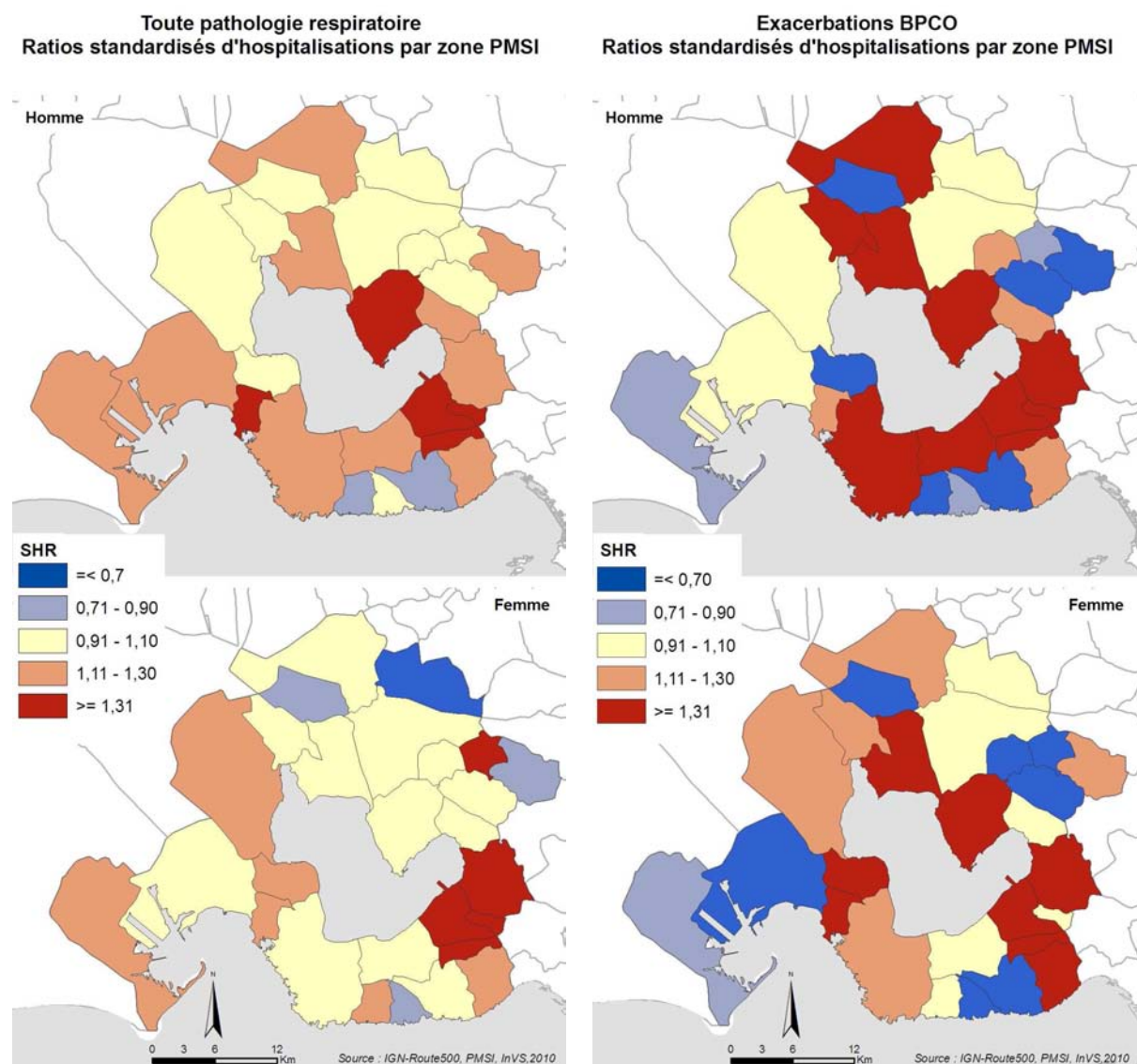
I Figure 15 I

SHR pour pathologies cardiaques, ischémies cardiaques et infarctus du myocarde chez les hommes et les femmes, 2004-2007



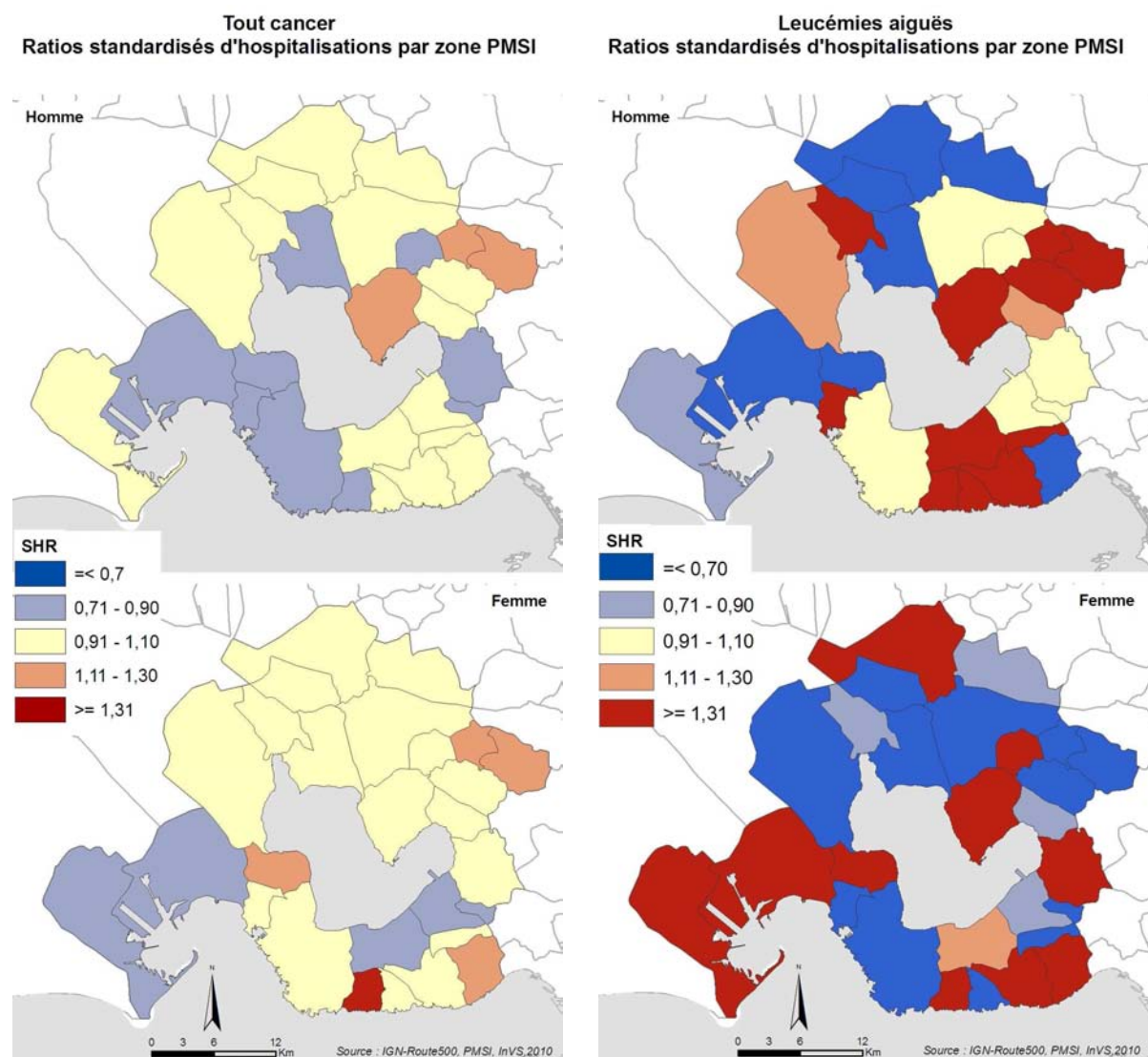
I Figure 16 I

SHR pour les pathologies respiratoires et les exacerbations de BPCO, chez les hommes et les femmes, 2004-2007



I Figure 17 I

SHR pour tous cancers et les leucémies aiguës de l'adulte, chez les hommes et les femmes, 2004-2007



3.4. Association entre les niveaux traceurs de pollution industrielle et les hospitalisations

L'association entre le nombre d'hospitalisations et l'indicateur d'exposition (indicateurs définis en trois classes, la première classe servant de référence) a été estimée pour les deux polluants mais l'exposition à la pollution industrielle, qui est la problématique qui nous intéresse dans cette étude, est mieux représentée par l'exposition au SO₂. Les résultats détaillés dans ce paragraphe sont ceux de l'exposition au SO₂. Les résultats des particules sont détaillés en annexe 8.

3.4.1. Enfants

Comme précisé dans la partie 3, les analyses n'ont pas été réalisées pour les pathologies cardiovasculaires et cancéreuses en raison d'un trop faible nombre d'hospitalisations pour ces indicateurs dans notre zone d'étude.

Les hospitalisations pour pathologies respiratoires sont liées significativement à un niveau socio-économique défavorisé de la commune.

En revanche, les enfants exposés à des niveaux moyens (compris entre 4,2 µg/m³ et 6,4 µg/m³) ou élevés (supérieurs à 6,4 µg/m³) de pollution par le SO₂ ne sont pas plus hospitalisés que ceux exposés au niveau de référence (inférieur à 4,2 µg/m³), voire parfois moins hospitalisés pour les pathologies infectieuses (tableau 9).

I Tableau 9 I

Risque relatif (RR) d'hospitalisation et intervalle de crédibilité à 95 % (IC 95) pour les différents indicateurs sanitaires estimés pour une exposition à des niveaux de SO₂ moyens ou élevés par rapport à un niveau de référence, chez les enfants

Indicateurs hospitalisations	Exposition	Enfants	
		RR	IC 95 %
Toutes pathologies respiratoires	Référence ^a	1	
	Moyenne ^b	0,93	[0,77 - 1,15]
	Élevée ^c	0,86	[0,68 - 1,10]
Infections respiratoires	Référence	1	
	Moyenne	0,69	[0,53 - 0,90]
	Élevée	0,79	[0,59 - 1,06]
Pneumopathies	Référence	1	
	Moyenne	0,67	[0,41 - 1,17]
	Élevée	0,70	[0,38 - 1,36]
Asthme	Référence	1	
	Moyenne	0,71	[0,49 - 1,04]
	Élevée	0,84	[0,54 - 1,35]

^a concentrations SO₂ inférieures ou égale à 4,2 µg/m³ ; ^b concentrations SO₂ entre 4,2 et 6,4 µg/m³ ; ^c concentrations SO₂ supérieures à 6,4 µg/m³.

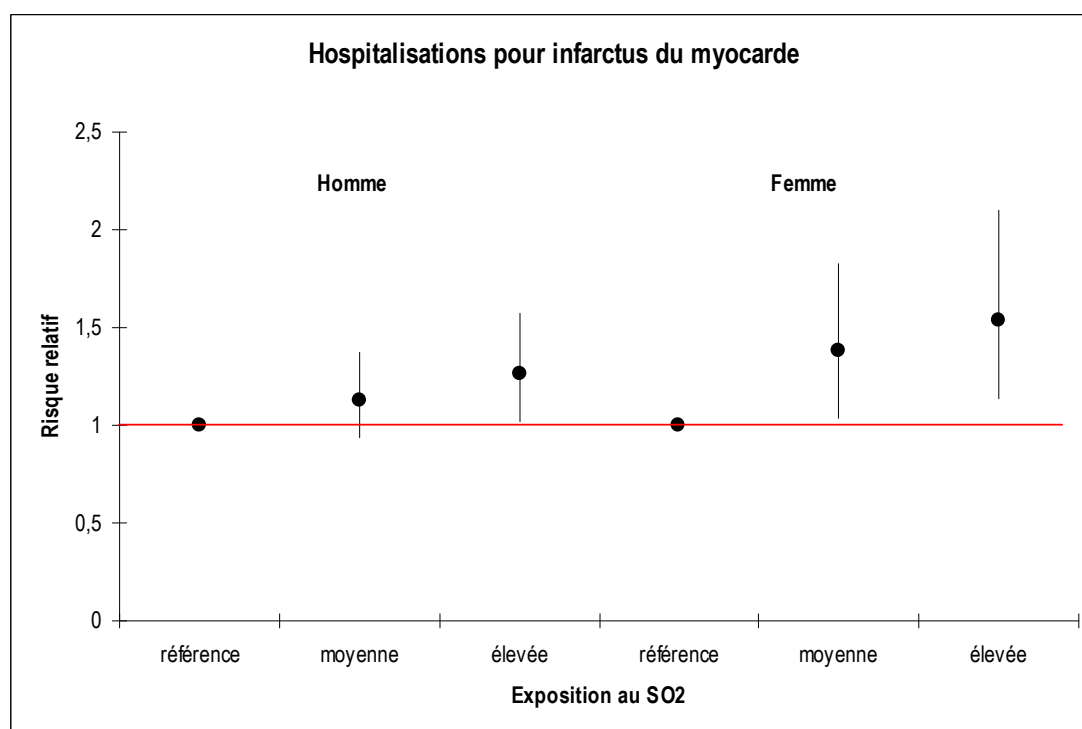
3.4.2. Adultes

Cette analyse retrouve quelques résultats significatifs pour les pathologies cardio-vasculaires ou les leucémies aiguës, mais pour la majorité des indicateurs étudiés, le risque d'être hospitalisé est le même pour les personnes exposées à des niveaux moyens ou élevés de pollution par le SO₂ que pour celle exposées à des niveaux inférieurs à 4,2 µg/m³ (tableau 10).

Concernant les indicateurs de pathologies cardiaques, les risques relatifs (RR) d'être hospitalisé pour une pathologie ischémique sont supérieurs à 1 et plus élevés chez les femmes mais non significatifs. Les femmes exposées à des niveaux moyens ou élevés de SO₂ présentent respectivement 38 et 54 % d'excès de risque d'être hospitalisées pour un infarctus du myocarde par rapport à celles exposées aux niveaux de référence. Cet excès de risque significatif (26 %) est aussi retrouvé pour les hommes mais uniquement pour ceux exposés à des niveaux supérieurs à 6,4 µg/m³ (figure 18).

I Figure 18 I

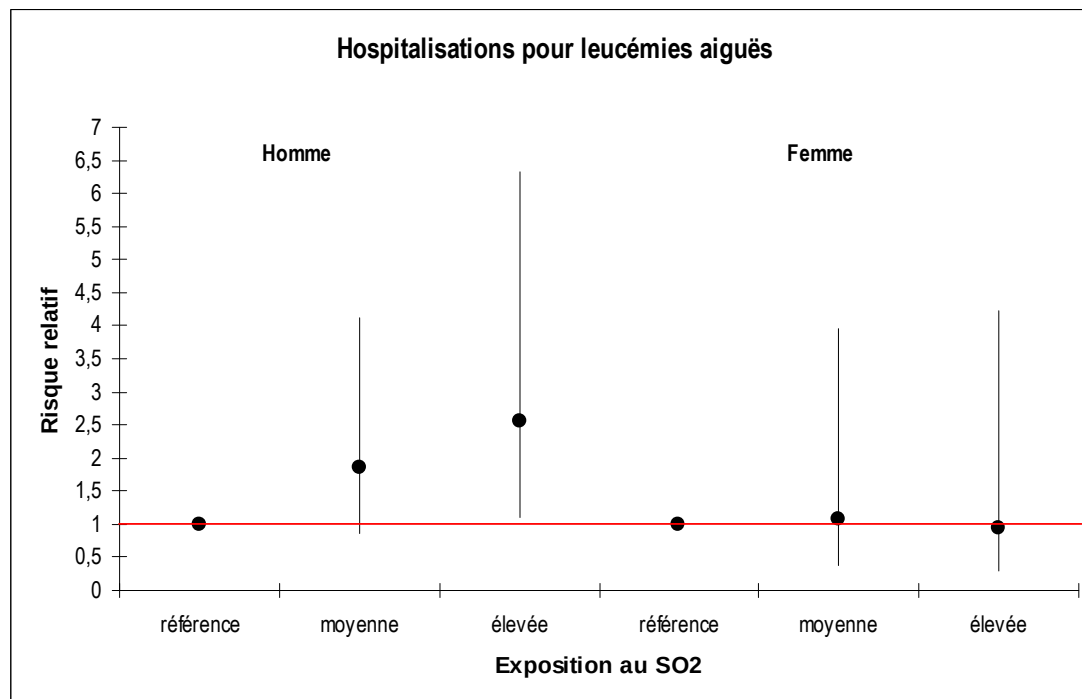
Risque relatif d'hospitalisation pour infarctus du myocarde et intervalle de crédibilité à 95 % estimés pour une exposition à des niveaux de SO₂ moyens ou élevés par rapport à un niveau de référence, chez les hommes et les femmes, zone de l'Étang de Berre.



Le risque d'être hospitalisé pour une leucémie aiguë est 2,5 fois plus élevé chez les hommes exposés à des niveaux de SO₂ élevés par rapport à ceux exposés aux niveaux de référence. Ce risque n'est pas retrouvé chez les femmes (figure 19).

I Figure 19 I

Risque relatif d'hospitalisation pour leucémies aiguës et intervalle de crédibilité à 95 % estimés pour une exposition à des niveaux de SO₂ moyens ou élevés par rapport à un niveau de référence, chez les hommes et les femmes, zone de l'Étang de Berre.



Les hospitalisations pour ischémie cardiaques et IDM ainsi que celles pour pathologies respiratoires ne sont pas liées significativement à l'indice de Townsend ou à la proportion d'ouvriers des communes. Les hospitalisations pour tous cancers et cancers du sein chez la femme sont plus élevées pour les communes ayant une proportion faible d'ouvriers.

Les résultats concernant l'exposition aux particules PM₁₀ ne sont pas significatifs à l'exception des hospitalisations pour pathologies respiratoires qui sont un peu plus fréquentes chez les hommes et les femmes exposées à des niveaux de PM₁₀ supérieurs à 32,2 µg/m³ (annexe 8).

I Tableau 10 I

Risque relatif (RR) d'hospitalisation et intervalle de crédibilité à 95 % (IC 95) pour les différents indicateurs sanitaires estimés pour une exposition à des niveaux de SO₂ moyens ou élevés par rapport à un niveau de référence, chez les hommes et les femmes

Indicateurs hospitalisations	Exposition	Hommes		Femmes	
		RR	IC 95 %	RR	IC 95 %
Toutes pathologies cardio-vasculaires	Référence ^a	1		1	
	Moyenne ^b	1,03	[0,95 - 1,11]	1,01	[0,90 - 1,12]
	Élevée ^c	0,96	[0,88 - 1,05]	0,91	[0,80 - 1,04]
Toutes pathologies cardiaques	Référence	1		1	
	Moyenne	1,08	[0,97 - 1,19]	1,13	[0,96 - 1,32]
	Élevée	0,98	[0,87 - 1,11]	0,99	[0,82 - 1,19]
Ischémie cardiaque	Référence	1		1	
	Moyenne	1,13	[0,93 - 1,36]	1,22	[0,87 - 1,65]

	Élevée	1,07	[0,86 - 1,34]	1,11	[0,76 - 1,61]
Infarctus du myocarde	Référence	1		1	
	Moyenne	1,13	[0,94 - 1,37]	1,38	[1,04 - 1,83]
	Élevée	1,26	[1,02 - 1,57]	1,54	[1,14 - 2,10]
Troubles du rythme cardiaque	Référence	1		1	
	Moyenne	1,15	[0,98 - 1,35]	1,01	[0,81 - 1,31]
	Élevée	1,16	[0,98 - 1,40]	1,05	[0,80 - 1,40]
Ischémie cardiaque associée à un trouble du rythme cardiaque	Référence	1		1	
	Moyenne	0,94	[0,73 - 1,20]	1,06	[0,76 - 1,47]
	Élevée	1,05	[0,73 - 1,52]	0,90	[0,61 - 1,31]
Accident vasculaire cérébral	Référence	1		1	
	Moyenne	0,97	[0,80 - 1,19]	1,07	[0,82 - 1,37]
	Élevée	1,07	[0,86 - 1,34]	0,86	[0,60 - 1,15]
Toutes pathologies respiratoires	Référence	1		1	
	Moyenne	0,97	[0,84 - 1,10]	1,08	[0,90 - 1,27]
	Élevée	1,01	[0,86 - 1,20]	1,05	[0,86 - 1,29]
Infections respiratoires	Référence	1		1	
	Moyenne	0,87	[0,68 - 1,11]	0,85	[0,65 - 1,09]
	Élevée	1,00	[0,76 - 1,32]	0,97	[0,73 - 1,30]
Pneumopathies	Référence	1		1	
	Moyenne	0,87	[0,68 - 1,13]	0,80	[0,63 - 1,03]
	Élevée	0,95	[0,72 - 1,29]	0,93	[0,69 - 1,24]
Exacerbations de BPCO	Référence	1		1	
	Moyenne	0,87	[0,57 - 1,31]	1,16	[0,77 - 1,80]
	Élevée	0,80	[0,49 - 1,32]	0,97	[0,59 - 1,64]
Tous cancers	Référence	1		1	
	Moyenne	0,98	[0,89 - 1,07]	1,00	[0,91 - 1,11]
	Élevée	0,90	[0,81 - 1,01]	1,03	[0,92 - 1,15]
Cancer du poumon	Référence	1		1	
	Moyenne	1,02	[0,81 - 1,29]	0,79	[0,51 - 1,28]
	Élevée	1,09	[0,84 - 1,43]	1,05	[0,65 - 1,78]
Cancer du sein	Référence	-	-	1	
	Moyenne	-	--	1,07	[0,91 - 1,25]
	Élevée	-	--	0,99	[0,82 - 1,20]
Cancer de la vessie	Référence	1		1	
	Moyenne	0,83	[0,56 - 1,26]	1,07	[0,58 - 2,12]
	Élevée	0,76	[0,48 - 1,23]	0,81	[0,38 - 1,70]
Leucémies aiguës	Référence	1		1	
	Moyenne	1,86	[0,87 - 4,13]	1,08	[0,38 - 3,97]
	Élevée	2,57	[1,10 - 6,33]	0,94	[0,29 - 4,24]
Myélomes multiples	Référence	1		1	
	Moyenne	1,35	[0,54 - 3,61]	0,73	[0,32 - 1,62]
	Élevée	1,65	[0,57 - 5,07]	0,40	[0,15 - 1,02]
Lymphomes malins non hodgkiniens (LMNH)	Référence	1		1	
	Moyenne	0,81	[0,52 - 1,23]	0,88	[0,51 - 1,59]
	Élevée	0,61	[0,35 - 1,00]	0,86	[0,47 - 1,63]

^a concentrations SO₂ inférieures ou égale à 4,2 µg/m³ ; ^b concentrations SO₂ entre 4,2 et 6,4 µg/m³ ; ^c concentrations SO₂ supérieures à 6,4 µg/m³.

4. Discussion

4.1. Principaux résultats

Par rapport à la région Paca, les hospitalisations pour pathologies cardio-vasculaires, qui concernent plus fréquemment des hommes, sont plus élevées dans le secteur de l'Étang de Berre. Les séjours pour pathologies respiratoires sont un peu plus fréquents pour les communes de la partie est de la zone d'étude. Aucune différence n'est observée pour les hospitalisations pour cancers toutes causes confondues, qui sont d'une fréquence équivalente, voire même inférieure, dans la zone d'étude que dans la région Paca. Les hospitalisations pour certaines localisations cancéreuses sont observées plus souvent chez les hommes : poumon, leucémies aiguës, plèvre, vessie.

Une association significative entre les concentrations estimées de SO₂ et les hospitalisations pour infarctus du myocarde (IDM) est retrouvée sur le secteur de l'Étang de Berre. Un excès d'hospitalisations pour IDM a été observé chez les femmes exposées à des niveaux de SO₂ supérieurs à 4 µg/m³ avec un effet dose-réponse. Cet excès d'hospitalisation pour IDM est aussi observé, mais à un niveau plus bas, pour les hommes résidents dans les communes impactées par des niveaux de SO₂ estimés supérieurs à 6 µg/m³.

Aucun excès d'hospitalisations pour pathologies respiratoires n'a été objectivé par l'étude, chez les adultes comme chez les enfants résidant dans les communes exposées à la pollution industrielle.

Enfin, aucun excès d'hospitalisation pour cancers n'a été observé dans les communes exposées à la pollution industrielle, à l'exception des leucémies aiguës chez les hommes.

4.2. Estimation de l'exposition

Dans notre étude, l'exposition de la population des communes est estimée à partir de deux polluants mesurés en routine par le réseau Airfobep. Ceci constitue une limite en regard du nombre important de polluants émis par les différentes sources de la zone d'étude et dont certains sont mis en avant par les évaluations de risques sanitaires comme le benzène. La population est exposée à un cocktail de polluants qui ne sont pas tous mesurés. Les deux polluants retenus le sont à titre de traceurs : le SO₂ pour la pollution industrielle et les particules pour la pollution liée au trafic et aux émissions industrielles. Les relations significatives retrouvées avec le SO₂ sont le reflet de l'effet de la globalité de la pollution émise en même temps et présente sur la zone d'exposition.

Cette estimation de l'exposition sur le secteur de l'Étang de Berre a été réalisée pour l'année 2008 et nous avons fait l'hypothèse que cette estimation était valable pour notre période d'étude 2004-2007. Toutefois comme le rapporte Airfobep [6], les niveaux de SO₂ ont diminués entre 2004 et 2007 et notre estimation en termes de niveaux de concentrations est donc probablement un peu sous-estimée. Cependant, les principales installations et principaux sites industriels présents sur la zone d'étude sont globalement les mêmes entre 2004 et 2007 et nous avons supposé que la répartition des communes exposées, surtout pour celles sur lesquelles sont situés les installations, et des communes de référence, est la même pour la période d'étude que pour l'année 2008.

L'estimation de l'exposition à la pollution atmosphérique est une étape essentielle dans la caractérisation des effets sur la santé. Pour notre étude, les zones d'exposition ont été constituées à partir des niveaux moyens annuels de concentrations calculés avec des données modélisées. Ces calculs font appel à des paramètres d'entrée, un modèle de dispersion des émissions (ADMS4 ou ADMS Urban) et un modèle météorologique (RAMS). Des erreurs et des biais peuvent se produire à chaque étape de la modélisation. Même si les modèles fournis ne sont pas validés par des campagnes de mesures *ad hoc*, des procédures de corrections et d'ajustements sont mises en œuvre pour limiter les biais [50]. On peut toutefois regretter que la modélisation des concentrations de PM₁₀ ne concerne pas aussi les particules secondaires.

Dans notre étude, le choix a été fait de définir les zones d'exposition à partir des classes de concentrations modélisées du SO₂. Cette méthode basée sur les niveaux de pollution estimés semble mieux adaptée que certaines autres modalités de définition retenues dans diverses études publiées car elle prend en compte l'exposition. Dans beaucoup d'analyses, les zones d'études sont choisies en fonction de la distance à l'installation industrielle, soit en se basant sur des cercles concentriques de plus en plus éloignés de l'installation, soit par la délimitation *a priori* d'une zone exposée proche de l'industrie et d'une zone témoin plus éloignée [51-56]. Une vérification des niveaux de polluants mesurés sur les différentes zones sert parfois à valider la constitution des zones d'études. D'autres études utilisent des modèles météorologiques tenant compte de la direction des vents pour constituer des zones exposées à proximité de l'industrie ou sous les panaches industriels et des zones non influencées par les retombées de panaches [57,58]. Enfin, quelques études se sont basées sur des modélisations de concentrations de polluants pour définir leurs zones d'études. L'équipe de Yogev-Baggio *et al* a utilisé une approche basée sur la prise en compte de dépassements simultanés de seuil pour le SO₂ et les NO_x sur des mesures semi-horaires. Après pondération, les codépassements SO₂ x NO_x ont été interpolés par krigeage pour obtenir des concentrations de dépassements sur toute la zone d'étude [59]. L'étude de Smargiassi *et al* a utilisé une modélisation des concentrations de SO₂, considéré comme traceur de pollution des raffineries, avec le modèle de dispersion AERMOD [60]. Celle de Barregard *et al* fait appel à une modélisation des émissions de COV totaux et du benzène ainsi qu'à des campagnes de mesures lui permettant comparer les concentrations modélisées qui sont deux à cinq fois supérieures aux mesures effectuées [61].

4.3. Qualité des indicateurs d'hospitalisation

Le PMSI demeure avant tout un système d'information médico-économique et cette fonctionnalité même peut être source de biais dans le cadre d'études épidémiologiques. Cependant, il s'agit d'un système utilisé au plan national qui repose sur un recueil exhaustif des données d'hospitalisation, sur une standardisation des méthodes et outils mis en œuvre. Son utilisation nécessite cependant de connaître les différents biais liés soit à la qualité et à la fiabilité des données, soit à la définition des indicateurs [62].

La qualité des indicateurs d'hospitalisation dépend d'abord de la qualité des données du PMSI qui est en grande partie liée aux pratiques de codage pouvant varier d'un établissement à l'autre malgré des règles établies au plan national. La qualité des données est vérifiée annuellement par des contrôles de qualité interne et externe qui ont permis une amélioration de la qualité du codage [63]. Ces contrôles ont comme objectif la vérification des erreurs ayant un impact en termes économiques. La mise en place de la tarification à l'activité (T2A) a semble-t-il entraîné une optimisation du codage ainsi que la mobilisation du corps médical, une mobilisation de ressources et une certaine motivation [64]. On peut donc espérer avec une meilleure qualité du codage et une redéfinition du diagnostic principal qui correspond maintenant à la pathologie ayant motivée l'hospitalisation améliorer la qualité des indicateurs d'hospitalisation utilisés dans les études épidémiologiques.

Des erreurs de classifications peuvent aussi influencer la qualité du codage des diagnostics. Les difficultés diagnostiques entre pathologies qui peuvent se manifester par des symptômes proches, comme bronchiolite et asthme chez le jeune enfant par exemple, peuvent conduire à des erreurs de codage du diagnostic principal. Il est également possible que certains séjours soient mal classés à cause des difficultés de hiérarchisation des différents diagnostics chez les patients souffrant de pathologies multiples. Cependant, la construction d'indicateurs d'hospitalisation à partir de plusieurs codes diagnostics, comme c'est le cas dans notre étude, permet de limiter l'impact de ces erreurs de classifications en termes de nombres de séjours.

Toutefois, plus le nombre de codes retenus est élevé et plus l'indicateur est hétérogène et l'information diluée. C'est le cas des indicateurs tout cardio-vasculaire, tout respiratoire ou tous cancers. Il semble plus intéressant, pour caractériser la morbidité hospitalière, d'utiliser des indicateurs spécifiques d'un groupe de pathologies comme les ischémies cardiaques, les BPCO... Les résultats obtenus pour les hospitalisations pour maladies de l'appareil cardio-vasculaire dans le cadre du Programme de surveillance air et santé de l'InVS ont montré que les indicateurs les plus spécifiques étaient plus fortement liés aux niveaux de pollution atmosphérique [3].

Toutefois ces biais potentiels liés à des erreurs de classement ne sont en principe pas liés aux zones d'exposition à la pollution atmosphérique autour de l'Étang de Berre. Ces erreurs sont non différentielles et entraînent plutôt une sous-estimation du lien avec la pollution atmosphérique.

4.4. Modélisation et validité des résultats

Sur un plan strictement statistique, les modélisations réalisées pour cette étude locale sur un nombre restreint de communes ne sont pas optimales. Les modèles sont en général surdispersés et le pourcentage de déviance expliqué est faible. Les modélisations réalisées sur les hospitalisations des enfants présentent une surdispersion très importante ce qui rend leur prise en compte et leur interprétation très difficile, malgré l'application des modèles hiérarchiques bayésiens. Les modélisations réalisées sur les hospitalisations des adultes présentent une sur dispersion moindre mais la déviance expliquée est faible à l'exception des infarctus du myocarde chez la femme.

Cette étude a concerné de nombreux indicateurs d'hospitalisation avec le souci d'une vision la plus complète de la morbidité hospitalière en lien avec la pollution atmosphérique sur la zone d'étude. En conséquence de nombreux tests statistiques ont été effectués. Pour chaque test, il était convenu d'accepter un risque de 5 % de conclure à tort à un déficit ou à un excès de risque. Du fait de la multitude de tests réalisés, la probabilité de mettre en évidence un excès d'hospitalisations « statistiquement significatif » selon les critères habituellement utilisés ($p < 5\%$) mais qui soit en réalité attribuable au hasard est augmentée. Si la méthode de correction de Benjamini et Hochberg [65] avait été appliquée, aucun résultat ne serait statistiquement significatif. De plus, les associations observées dans les études épidémiologiques ne traduisent pas toujours un lien de causalité et les études écologiques apportent au raisonnement causal des arguments plus faibles que les études individuelles. On ne peut donc pas conclure que les excès d'hospitalisations obtenus sont réellement dus au polluant SO_2 .

Le principal avantage de ces études est de pouvoir utiliser des données agrégées au niveau de l'unité géographique et qui sont souvent recueillies en routine comme les données d'hospitalisation. La principale source d'erreur est représentée par le biais écologique lié à la présence d'une hétérogénéité au sein des unités géographiques dû à un facteur de confusion non pris en compte.

Une hétérogénéité spatiale en termes de sur dispersion est retrouvée pour la plupart des indicateurs de pathologies cardio-vasculaires, excepté les troubles du rythme cardiaque et les accidents vasculaires cérébraux chez les hommes ainsi que les infarctus du myocarde et les ischémies cardiaques associées à un trouble du rythme chez les femmes. Pour les indicateurs de pathologies respiratoires, une hétérogénéité spatiale est toujours observée sauf pour l'asthme chez les hommes et les femmes. En revanche, il n'existe en général pas d'hétérogénéité spatiale pour les indicateurs de pathologies cancéreuses, excepté pour les indicateurs tous cancers et cancers de la vessie chez les hommes ainsi que les leucémies aiguës chez les femmes. Nous avons donc choisi de retenir systématiquement les résultats des modèles « somme » qui contrôlent cette hétérogénéité spatiale.

Par ailleurs les études écologiques présentent un certain nombre de limites qui peuvent entraîner une sous ou surestimation de l'association entre l'exposition aux concentrations de SO_2 et les hospitalisations cardio-vasculaires, respiratoires et pour cancers.

L'utilisation de valeurs moyennes pour chaque unité géographique provoque un effet de dilution lorsque ces variables sont hétérogènes. Nous avons essayé de limiter cet effet de dilution pour l'exposition en calculant les concentrations moyennes estimées uniquement sur la partie urbanisée de la commune. Pour les hospitalisations, nous n'avons pas pu faire cette restriction, l'information géographique à un niveau suffisamment fin n'étant pas disponible. Mais l'on peut supposer que le nombre d'hospitalisations est proportionnel à la population et donc la contribution des zones urbaines est probablement prépondérante.

Les données d'hospitalisation et les données d'exposition ont été estimées à la zone PMSI de résidence.

La validité des résultats repose sur une certaine stabilité des patients pendant la période d'étude. Pour cela, les patients ayant quitté ou s'étant installés dans la zone d'étude entre 2004 et 2007 ont été exclus et représentaient une faible part de séjours (moins de 0,3 %). Cela n'a pas été fait pour

d'éventuels déménagements entre les trois zones d'exposition, mais on peut supposer que ce nombre est faible et n'est pas de nature à remettre en cause les résultats.

D'une manière générale, les résultats obtenus pour les hospitalisations pour cancers sont certainement plus biaisés. Un délai de latence parfois élevé existe entre l'exposition et la manifestation de la maladie cancéreuse. Il aurait fallu estimer l'exposition des patients hospitalisés à leur lieu de résidence entre cinq à 10 ans avant leur hospitalisation mais ces données n'étaient pas disponibles. La survenue d'un changement de résidence est probablement plus fréquente sur une durée de 10 ans et pourrait entraîner une sous-estimation de l'association entre l'exposition et les hospitalisations pour cancer si le déménagement est lié à des niveaux trop élevés de pollution.

Enfin, certains facteurs dits de confusion pouvaient être liés à l'exposition et/ou à la santé et ainsi modifier l'association exposition/hospitalisations. Le statut socio-économique est souvent cité comme source d'hétérogénéité entre communes et peut influencer à la fois le recours à l'hospitalisation et l'exposition des populations. Nos modèles ont été ajustés sur le statut socio-économique évalué à l'échelle de la commune par l'indice de Townsend et la proportion d'ouvriers.

Dans la littérature, les études sur les relations inégalités sociale, santé et pollution atmosphérique, utilisent soit plusieurs variables socio-économiques soit des indices synthétiques de défavorisation. Les variables socio-économiques les plus citées sont le revenu moyen ou la part de personnes en dessous du seuil de pauvreté, le niveau d'éducation, le pourcentage de chômeurs, le pourcentage d'ouvriers, le statut matrimonial. Certaines études, comme la nôtre, utilisent des indices de référence construits par approche additive avec pondération, comme ceux de Townsend [42] et Carstairs et Morris [66], qui sont très proches dans leur définition, ou le score UPA (Under-privileged Areas) de Jarman [67]. Mais le plus souvent les indices synthétiques sont construits spécifiquement à partir de plusieurs variables socio-économiques soit par une approche factorielle [68-69] soit par approche additive [70-72].

Pour cette étude locale, nous n'avons pas jugé pertinent de construire un indice spécifique. L'indice de Townsend représente relativement bien les communes industrialisées et ouvrières et les communes résidentielles favorisées. Cet indice est en revanche plus variable dans les communes soumises aux panaches industrielles comme Sausset-les-Pins et Carry-le-Rouet. Il est modérément corrélé aux niveaux d'exposition au SO₂ (coefficient de corrélation à 0,4) et pas du tout à ceux des PM₁₀ (coefficient de corrélation à 0,05). Ce résultat est similaire à celui de Declercq *et al* dans une étude sur la communauté urbaine de Lille qui retrouve une corrélation modérée de cet indice avec les niveaux de NO₂ [73]. Dans notre étude, les communes les plus exposées ne sont donc pas toujours les plus défavorisées et va dans le sens des conclusions de Laurent et Deguen [44-45].

D'autres facteurs peuvent modifier les nombres d'hospitalisations comme les déterminants de l'accès et du recours aux soins. En France, l'accès aux soins est assuré pour la quasi-totalité de la population puisque neuf personnes sur 10 disposent d'une couverture maladie et le libre choix est laissé aux patients pour l'accès aux soins primaires (médecine de ville) ou aux soins hospitaliers. De plus, dans la région Paca, 95 % de la population dispose d'un service d'urgence à moins de 30 minutes de son domicile [74]. Les restrictions d'accès aux soins, probablement peu fréquentes, ne constituent donc pas une réelle limite dans cette étude.

Le recours aux soins est aussi étroitement associé au niveau socio-économique des patients [75] mais aussi du contexte socio-économique de résidence [76] : un accès restreint au spécialiste pourrait diminuer les possibilités de diagnostics et de traitement. Dans nos modèles, nous n'avons pas contrôlé directement une possible hétérogénéité dans le recours aux soins dans notre zone par la densité médicale, par exemple. Cependant une prise en compte indirecte au travers de l'indice de Townsend, d'une part, et un contrôle de l'autocorrélation spatiale des taux d'hospitalisation entre communes par l'application systématique du modèle hiérarchique bayésien, d'autre part, ont certainement permis de limiter le biais lié à un recours aux soins potentiellement différent entre les zones d'exposition.

Le recours aux soins est différent selon le sexe et généralement les femmes sont plus attentives à leur état de santé et plus consommatrices de soins que les hommes [77]. À partir de 65 ans, les hommes sont plus fréquemment hospitalisés que les femmes, en premier lieu pour des pathologies cardio-vasculaires [78]. L'analyse par sexe a permis de s'affranchir des différences de comportements des hommes et des femmes vis-à-vis de la santé en général.

Enfin, dans les études écologiques, les facteurs de risques individuels tels que l'obésité, le taux de cholestérol, la sédentarité, le tabagisme, l'alcoolisme, l'hypertension artérielle, l'atopie qui peuvent être impliqués dans les différentes pathologies étudiées ne peuvent pas être pris en compte puisque les données sanitaires sont agrégées. Concernant le tabagisme, dont les données chiffrées sont disponibles seulement à l'échelle régionale, certaines études ont montré, chez les hommes surtout, une corrélation entre la CSP et le tabagisme qui serait plus élevée chez les ouvriers et les chômeurs [23]. L'ajustement de l'analyse sur l'indice de Townsend et sur la proportion d'ouvriers a pu indirectement conduire à contrôler partiellement le tabagisme chez les hommes.

4.5. Interprétation des résultats

Les excès d'hospitalisations estimés concernent en premier lieu les hospitalisations pour infarctus du myocarde (IDM) et exposition au traceur SO_2 chez les hommes pour les niveaux les plus élevés et chez les femmes pour une exposition moyenne et élevée. En revanche, aucune association n'a été observée avec les niveaux de particules alors que dans plusieurs d'études des résultats significatifs sont observés avec les particules, $\text{PM}_{2,5}$ notamment [2,3,79,80].

Peu d'études concernant l'impact de la pollution industrielle sur les hospitalisations cardio-vasculaires ou respiratoires ont été publiées. Une étude menée au Canada retrouve un ratio standardisé d'hospitalisation cardio-vasculaire et respiratoire plus élevé dans les villes industrialisées par rapport à la ville témoin, ce ratio étant plus élevé chez les femmes [81]. Une étude en Angleterre et au Pays de Galles n'a pas retrouvé d'excès d'hospitalisation pour pathologies cardio-vasculaires et AVC parmi la population résidant à proximité de cokeries, de même que pour les hospitalisations respiratoires [82]. Dans une étude de type case cross-over, Smargiassi *et al* a retrouvé, chez les enfants vivants près de raffineries, un excès d'hospitalisation et de passages aux urgences pour crise d'asthme associé aux pics de SO_2 le jour même mais pas aux niveaux journaliers [83].

Parmi les études ayant analysé l'association entre les concentrations en polluants dans le milieu urbain et les hospitalisations pour différentes causes cardio-vasculaires, plusieurs ont montré une association particulièrement importante pour les cardiopathies ischémiques [79]. Les mécanismes biologiques pouvant expliquer cette association à court terme entre exposition aux polluants atmosphériques et le risque cardio-vasculaire sont, d'une part les mécanismes du stress oxydatif et de l'inflammation et, d'autre part, la modification du contrôle nerveux autonome du cœur [83]. Dans cette étude l'analyse écologique avec les particules ne retrouve pas d'excès de risque pour les PM_{10} à cause d'un contraste insuffisant entre les niveaux de particules sur le secteur de l'Étang de Berre et du fait que la pollution d'origine industrielle est mieux représentée par le SO_2 .

Par ailleurs, les excès de risques d'hospitalisations pour IDM observés sont plus élevés chez les femmes que chez les hommes. Certains auteurs évoquent une susceptibilité particulière des femmes aux effets de la pollution atmosphérique [79].

L'absence de résultats significatifs obtenus pour les hospitalisations pour pathologies respiratoires nous conduit à nous interroger sur l'intérêt d'un indicateur d'hospitalisation pour les pathologies respiratoires pour étudier les effets de la pollution atmosphérique. Pour l'asthme notamment, les hospitalisations diminuent en France chez l'adulte [84]. Des études utilisant d'autres indicateurs pour les pathologies respiratoires comme les passages aux urgences pour crises d'asthme ou un indicateur de crises d'asthme en médecine de ville seraient plus pertinentes. D'ailleurs, la plupart des études publiées ont concerné l'analyse de la prévalence de symptômes respiratoires et otorhino-laryngologiques et de l'asthme chez des enfants scolarisés vivant dans des zones exposées à la pollution industrielle [58;59;85-88] et parfois chez l'adulte [89,90].

Concernant les hospitalisations pour cancer, une seule association significative a été retrouvée entre l'exposition à la pollution industrielle et les leucémies aiguës chez les hommes. En raison du faible nombre de cas concerné et des réserves émises précédemment, il reste possible que les résultats observés soient dus au hasard. Toutefois, le fait que cette association soit observée uniquement chez les hommes amène à considérer l'hypothèse d'une exposition professionnelle. Parmi les polluants recensés par les différentes EQRSZ réalisées dans le secteur de l'Étang de Berre, certaines substances chimiques sont des cancérogènes avérés (benzène, 1,3-butadiène) ou possibles (1,2-dichloroéthane) pour l'homme. Le benzène en particulier est reconnu comme facteur de risque pour les leucémies myéloïdes aiguës aux niveaux d'exposition rencontrés en milieu professionnel, mais il

n'existerait *a priori* pas de seuil et une exposition longue à des niveaux de l'ordre de 1 ppm pourrait induire des leucémies aiguës [91].

Pour la population générale, les résultats publiés dans la littérature concernent presque toujours une exposition résidentielle à une raffinerie ou à un complexe pétrochimique et ne permettent pas vraiment de conclure à l'existence d'un lien entre des niveaux faibles de benzène ou de COV totaux et un excès d'hémopathies malignes ou de leucémies. Certaines études retrouvent un excès de risque significatif de leucémies [61,92,93] alors que d'autres ne mettent pas en évidence d'excès de risque [56,90,94].

Aux États-Unis, Tsai *et al* dans une cohorte d'employés de raffineries ou d'usines pétrochimiques ne retrouve pas d'excès de mortalité pour leucémies [95] alors que l'équipe de Glass *et al* mettent en évidence un excès de risque de leucémies associé une exposition cumulée à de faibles niveaux de benzène dans un sous-groupe de travailleurs souffrant d'un cancer hématopoïétique et appartenant à une cohorte de l'industrie pétrolière australienne [96].

5. Conclusion et recommandations

Cette étude a mis en évidence un excès d'hospitalisations pour infarctus du myocarde chez les femmes exposées à des niveaux de SO₂ supérieurs à 4 µg/m³. Cet excès d'hospitalisation pour infarctus du myocarde est aussi observé, mais à un niveau plus bas, pour les hommes résidents dans les communes industrialisées impactées par les niveaux de SO₂ supérieurs à 6 µg/m³. Aucun excès d'hospitalisation pour pathologies respiratoires ou pour cancers n'a été observé dans les communes exposées à la pollution industrielle à l'exception des leucémies aiguës chez les hommes.

Compte tenu des limites inhérentes à toute étude de corrélations écologiques et à la réalisation de tests multiples, il n'est pas impossible que ces résultats soient dus au hasard ou que certains facteurs de risques individuels non pris en compte dans cette étude puissent expliquer le nombre plus élevé d'hospitalisations.

Toutefois, si l'on met en perspective ces résultats avec la situation locale, un faisceau d'éléments cohérents nous conduisent à considérer ces résultats comme des effets sanitaires plausibles du mélange de polluants issus des industries et des autres émetteurs présents sur la zone d'étude :

- les liens entre pollution de l'air et hospitalisations cardio-vasculaires sont bien démontrés dans de multiples études nationales et internationales ;
- les niveaux de SO₂ mesurés restent les plus élevés de la région Paca même s'ils diminuent régulièrement depuis plusieurs années. Les dépassements des valeurs réglementaires concernent essentiellement la pollution de pointe, mais les niveaux de fond dépassent aussi le seuil de recommandations de l'OMS ;
- les concentrations en PM₁₀ sont relativement élevées avec des dépassements des valeurs réglementaires subsistent que ce soit pour la pollution de fond ou de pointe ;
- les différentes EQRS de zone menées sur le secteur de l'Étang de Berre ont retrouvé des indices de risques cancérigènes supérieurs au seuil de référence de 10⁻⁵ pour les zones de Berre-L'Étang et de Lavéra ;
- les personnes travaillant sur les sites industriels peuvent être exposées à des produits répertoriés comme cancérigènes avérés comme le benzène ou le 1.3-butadiène, qui sont reconnus pour leurs effets délétères sur le système hématopoïétique et comme facteur de risque de leucémies aiguës.

Cette étude souligne qu'en termes de morbidité hospitalière, la situation sanitaire de la population exposée à la pollution atmosphérique d'origine industrielle n'est globalement pas préoccupante pour les pathologies respiratoires et pour les cancers. Elle illustre toutefois l'impact de la pollution atmosphérique sur le système cardio-vasculaire. Cette étude, qui va dans le sens de constats déjà établis par des études précédentes, vient compléter les connaissances sur la situation locale qui sont suffisantes pour formuler les recommandations suivantes :

Poursuivre activement la mise en œuvre d'actions permettant de diminuer les émissions de certains polluants

La diminution des émissions de SO₂, des particules d'origine industrielle et de certains composés cancérigènes émis par les industriels doit être poursuivie.

La diminution des émissions des particules liées au trafic routier, qui sont prépondérantes dans la zone d'étude, nécessiterait la mise en place d'un réseau de transport en commun interurbain rapide et fonctionnel dans ce secteur ainsi que développement du feroutage pour le transport des matières premières et des marchandises.

Sensibiliser les médecins du secteur de l'Étang de Berre sur l'importance de la prévention des maladies cardio-vasculaires

Dans cette zone où certains secteurs cumulent une situation socio-économique défavorisée et une exposition à la pollution environnementale et/ou professionnelles, la prévention des maladies cardio-vasculaires devrait être une priorité, particulièrement chez les femmes. Les femmes bénéficieraient

d'une moins bonne prise en charge en soins primaires car l'ischémie cardiaque est un diagnostic auquel le médecin ne pense pas chez la femme.

Les patients présentant une pathologie cardiaque ou chronique telle que le diabète devraient être informés des méfaits de la pollution atmosphérique et des mesures à prendre en cas de forte exposition.

Une collaboration avec les ateliers santé-ville pourrait s'avérer utile pour informer les professionnels de santé et la population.

Sensibiliser les médecins et les médecins du travail aux risques cancérogènes liés à l'exposition professionnelle

D'après le Centre international de recherche sur le cancer, les expositions professionnelles seraient responsables de 4 % des cancers chez l'homme et 0,5 % chez la femme, les causes principales étant l'amiante, le benzène, les rayonnements ionisants. Ces expositions professionnelles sont présentes sur le secteur de l'Étang de Berre.

Une surveillance accrue des leucémies seraient intéressante chez les travailleurs comme les retraités du secteur, le rôle des facteurs de risques professionnels étant souvent ignoré surtout lorsque le cancer survient après la cessation d'activité.

Mieux caractériser l'exposition au PM_{2,5} de la population du secteur de l'Étang de Berre.

Les effets des particules PM_{2,5} sont bien documentés au travers de nombreuses études épidémiologiques et toxicologiques. Les excès de risques d'hospitalisations cardio-vasculaires associés aux niveaux de PM_{2,5} sont en général plus élevés que pour les niveaux de PM₁₀.

Une caractérisation chimique des particules apporterait des informations utiles car la toxicité des particules dépend aussi de leur composition. Certains composants provenant de la combustion liée aux sources industrielles et au trafic présenterait une toxicité plus importante.

Poursuivre la surveillance des indicateurs d'hospitalisations et des passages aux urgences pour les pathologies ischémiques cardiaques.

Une actualisation des résultats sur les hospitalisations permettrait d'évaluer l'évolution dans le temps du nombre de patients hospitalisés pour les pathologies ischémiques cardiaques. L'étude des passages aux urgences pour ischémies cardiaques permettrait de compléter l'étude en prenant en compte les patients traités aux urgences pour un angor peu sévère et qui ne sont pas hospitalisés. Une étude de faisabilité sera menée afin de déterminer si de tels indicateurs sont utilisables à l'échelle de la zone d'étude.

Références bibliographiques

- [1] Atiyeh A. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique industrielle sur la zone de Fos- Étang de Berre [Internet]. Rennes : Ecole nationale de la santé publique ; 2006. 98 p. Disponible à partir de l'URL : <http://ressources.ensp.fr/memoires/2006/igs/atiyeh.pdf>.
- [2] Programme de surveillance air et santé. Analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique urbaine et mortalité dans neuf villes françaises. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2008. 41 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>.
- [3] Programme de surveillance air et santé. Relations à court terme entre les niveaux de pollution atmosphérique et les admissions à l'hôpital dans huit villes françaises. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2006. 66 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>.
- [4] Zanobetti A, Schwartz J, Samoli E, Gryparis A, Touloumi G, Peacock J *et al.* The temporal pattern of respiratory and heart disease mortality in response to air pollution. *Environ Health Perspect* 2003;111(9):1188-93.
- [5] Atkinson RW, Bremner SA, Anderson HR, Strachan DP, Bland JM, de Leon AP. Short-term associations between emergency hospital admissions for respiratory and cardiovascular disease and outdoor air pollution in London. *Arch Environ Health* 1999 Nov;54(6):398-411.
- [6] Filleul L, Rondeau V, Vandentorren S, Le Moual N, Cantagrel A, Annesi-Maesano L *et al.* Twenty-five year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey. *J Occup Environ Med* 2005;62:453-60.
- [7] Pope CA III, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K *et al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *J Am Med Assoc* 2002;287:1132-41.
- [8] Nafstad P, Håheim LL, Wisløff T, Gram F, Oftedal B, Holme I, Hjermann I *et al.* Urban air pollution and mortality in a cohort of Norwegian men. *Environ Health Perspect* 2004;112:610-5.
- [9] Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur. État de l'environnement industriel Paca – 2008 [Internet]. Marseille : Drir Paca ; 2008 [consulté le 23/11/2010]. Disponible à partir de l'URL : http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=400.
- [10] Direction régionale de l'environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur. Profil environnemental régional. Diagnostic environnemental Région Provence-Alpes-Côte d'Azur [Internet]. Aix-en-Provence : Diren Paca ; 2006. 234 p. [consulté le 23/11/2010]. Disponible à partir de l'URL : <http://paca.ecologie.gouv.fr/docHTML/profil/pdf/diagnostic.pdf>.
- [11] Airfobep. Inventaire des émissions. Étang de Berre et Ouest des Bouches-du-Rhône [Internet]. Martigues : Airfobep ; 2007. 4 p. [consulté le 24/11/2010]. Disponible à partir de l'URL : http://www.airfobep.org/docs/plaq2007_inventaire_BR.pdf.
- [12] Citepa. Emissions dans l'air en France. Régions de la métropole. Citepa ; 2004. 29 p.
- [13] AtmoPaca. Pollution atmosphérique et gaz à effet de serre. Inventaire d'émissions 2004 [Internet]. Marseille : AtmoPaca ; 2009. 57 p. [consulté le 24/11/2010]. Disponible à partir de l'URL : http://www.atmopaca.org/files/et/090223_Rapport_Inventaire_PACA_2004_V2009.pdf.
- [14] Airfobep. Qualité de l'air de la région de l'étang de Berre et de l'ouest des Bouches-du-Rhône. Bilan année 2008 [Internet]. Martigues : Airfobep ; 2009. 128 p. [consulté le 15/12/2010]. Disponible à partir de l'URL : <http://www.airfobep.org/publications-airfobep.html>.
- [15] Blanchard F, Hube D, Salquebre D, Allier D, Saffre AS, Lambeaux JL *et al.* Aigrette. Synthèse des résultats et plan d'actions à l'échelle du territoire du SAN Ouest Provence. Rapport final BRGM/RP-57415-FR. Orléans : BRGM ; 2009. 91 p. [consulté le 23/10/2009]. Disponible à partir de l'URL : <http://www.ouestprovence.com/fileadin/Internet/Actus/2009/aigrette/syntese.pdf>.

- [16] ORS Paca. Données sur l'état de santé Régional. La santé observée. Tableau de bord régional. Marseille : ORS Paca ; 2002. Disponible à partir de l'URL : <http://www.se4s-orspaca.org/publications/detail-1730-la-sante-observee-tableau-de-bord-regional-de-la-sante-en-provence-alpes-cote-d-azur-edition-2002.html>.
- [17] Deprez PH, Chinaud F, Clech S, Vallier N, Germanaud J, Weill A *et al.* La population traitée par médicaments de la classe des antiasthmatiques en France métropolitaine: données du régime général de l'assurance maladie, 2000. *Revue Médicale de l'Assurance Maladie* 2004;35(1):3-11.
- [18] Orep. Etude Panoxy-Berre. Marseille : Orep ; 1996. 62 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.paca.sante.gouv.fr/pow/idcplg?IdcService=GET_FILE&ssSourceNodeId=501&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=PACA_005760.
- [19] Charpin D, Pascal L, Birnbaum J, Armengaud A, Sambuc R, Lanteaume A *et al.* Gaseous air pollution and atopy. *Clin Exp Allergy* 1999;29(11):1474-80.
- [20] Burgéap. Mise à jour de l'étude sanitaire sur la base des projections d'émission de benzène et butadiène en juillet 2008. Site SHELL de Berre l'Étang (13). Rapport de synthèse [Internet]. Avignon : Burgéap ; 2008. 222 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.spppi-paca.org/doc/ers/ers_berre.doc.
- [21] Burgéap. Evaluation des risques sanitaires dans la zone industrielle de Fos-sur-Mer dans les Bouches-du-Rhône [Internet]. Avignon : Burgéap ; 2008. 661 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.spppi-paca.org/doc/ers/ERS_Fos_2008_05_26.pdf.
- [22] Burgéap. Evaluation des risques sanitaires liés aux rejets de la zone industrielle de Lavéra - La Mède. Avignon : Burgéap ; à paraître en 2011.
- [23] ORS Paca. Etats de santé et inégalités en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Marseille : ORS Paca ; 2010. 161 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.se4s-orspaca.org/depot/pdf/10-SY15.pdf>.
- [24] Dominici F, Peng RD, Bell ML *et al.* Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA* 2006;295(10):1127-34.
- [25] Zanobetti A, Schwartz J. Particulate air pollution, progression, and survival after myocardial infarction. *Environ Health Perspect* 2007;115(5):769-75.
- [26] Lanki T, Pekkanen J, Aalto P *et al.* Associations of traffic related air pollutants with hospitalisation for first acute myocardial infarction: the HEAPSS study. *Occup Environ Med* 2006;63(12):844-51.
- [27] Cendon S, Pereira AL, Braga AL *et al.* Air pollution effects on myocardial infarction. *Rev Saude Publica* 2006;40(3):414-9.
- [28] Von Klot S, Peters A, Aalto P *et al.* Ambient air pollution is associated with increased risk of hospital cardiac readmissions of myocardial infarction survivors in five European cities. *Circulation* 2005;112(20):3073-9.
- [29] Mann JK, Tager IB, Lurmann F *et al.* Air pollution and hospital admissions for ischemic heart disease in persons with congestive heart failure or arrhythmia. *Environ Health Perspect* 2002;110(12):1247-52.
- [30] Peters A, Liu E, Verrier RL *et al.* Air pollution and incidence of cardiac arrhythmia. *Epidemiology* 2000;11(1):11-7.
- [31] Vedal S, Rich K, Brauer M *et al.* Air pollution and cardiac arrhythmias in patients with implantable cardioverter defibrillators. *Inhal Toxicol* 2004;16(6-7):353-62.
- [32] Medina-Ramon M, Zanobetti A, Schwartz J. The effect of ozone and PM10 on hospital admissions for pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease: a national multicity study. *Am J Epidemiol* 2006;163(6):579-88.
- [33] Ko FW, Tam W, Wong TW *et al.* Temporal relationship between air pollutants and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Hong Kong. *Thorax* 2007;62(9):780-5.

- [34] Yang Q, Chen Y, Krewski D *et al.* Effect of short-term exposure to low levels of gaseous pollutants on chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations. *Environ Res* 2005;99(1):99-105.
- [35] Lin M, Stieb DM, Chen Y. Coarse Particulate Matter and Hospitalization for Respiratory Infections in Children Younger Than 15 Years in Toronto: A Case-Crossover Analysis. *Pediatrics* 2005;116:235-40.
- [36] Fusco D, Forastiere F, Michelozzi P, Spadea T, Ostro B, Arca M *et al.* Air pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy. *Eur Respir J* 2001;17:1143–50.
- [37] Fuhrman C, Delmas MC. Hospitalisations pour exacerbations de BPCO : comment les identifier à partir des données du programme de médicalisation des systèmes d'information ? Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2009. 16 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>.
- [38] Institut de veille sanitaire. Cancers prioritaires à surveiller et étudier en lien avec l'environnement. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2006. 60 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>.
- [39] Inserm. Cancers et environnement. Éditions Inserm ; 2008. 907 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.inserm.fr/index.php/thematiques/cancer/dossiers/cancers-et-environnement>.
- [40] Moulin JJ, Dauphinot V, Dupre C, Sass C, Labbe E, Gerbaud L *et al.* Inégalité de santé et comportements : comparaison d'une population de 704 128 personnes en situation de précarité à une population de 516 607 personnes non précaires, France, 1995-2002. *Bull Epidemiol Hebd* 2005;43:213-5.
- [41] Pampalon R, Raymond G. A deprivation index for Health and Welfare Planning in Québec. *Chronic Diseases in Canada* 2000;21(3):104-13.
- [42] Yen IH, Michael YL, Perdue L. Neighborhood environment in studies of Health of older adults : A systematic review. *Am J Prev Med* 2009;37(5):455-63.
- [43] Extrapol. Pollution atmosphérique, niveau socio-économique et santé. Saint Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2007 ; 31. 47 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>.
- [44] Laurent O, Bard D, Filleul L, Segala C. Effect of socioeconomic status on the relationship between atmospheric pollution and mortality. *J Epidemiol Community Health* 2007;61:665-75.
- [45] Deguen S, Zmirou-Navier D. Social inequalities resulting from health risks related to ambient air quality – A European review. *Eur J Public Health* 2010;20(1):27-35.
- [46] Jerett M, Burnett RT, Brook J, Kanaroglou P, Giovis C, Finkelstein N *et al.* Do socioeconomic characteristics modify the short term association between air pollution and mortality? Evidence from a zonal time series in Hamilton, Canada. *J of Epidemiol and Community Health* 2004;58:31-40.
- [47] Townsend P. Deprivation. *J Soc Policy* 1987;16(2):125-46.
- [48] Potthoff RF, Whittinghill M. Testing for homogeneity. II. The Poisson distribution. *Biometrika* 1986;53:183-90.
- [49] Besag J, Newell JN. The detection of clusters in rare diseases. *JR Society A* 1991;154:143-55.
- [50] Airfobep. Surveillance prévision de la qualité de l'air dans la région de l'Étang de Berre. Plate-forme de modélisation temps réel. Note méthodologique. Martigues : Airfobep ; 2010. 25 p.
- [51] Howel D, Pless-Mulloli T, Darnell R. Consultations of children living near opencast coal mines. *Environ Health Perspect* 2001;109(6):567-71.
- [52] Pless-Mulloli T, Howel D, King A, Stone I, Merefield J, Bessell J *et al.* Living near opencast coal mining sites and children's respiratory health. *Occup Environ Med* 2000;57(3):145-51.
- [53] Kobrossi R, Nuwayhid I, Sibai AM, El-Fadel M, Khogali M. Respiratory health effects of industrial air pollution on children in North Lebanon. *Int J Environ Health Res* 2002;12:205-20.
- [54] Monge-Corella S, García-Pérez J, Aragonés N, Pollán M, Pérez-Gómez B, López-Abente G. Lung cancer mortality in towns near paper, pulp and board industries in Spain: a point source pollution study. *BMC Public Health* 2008;8:288.

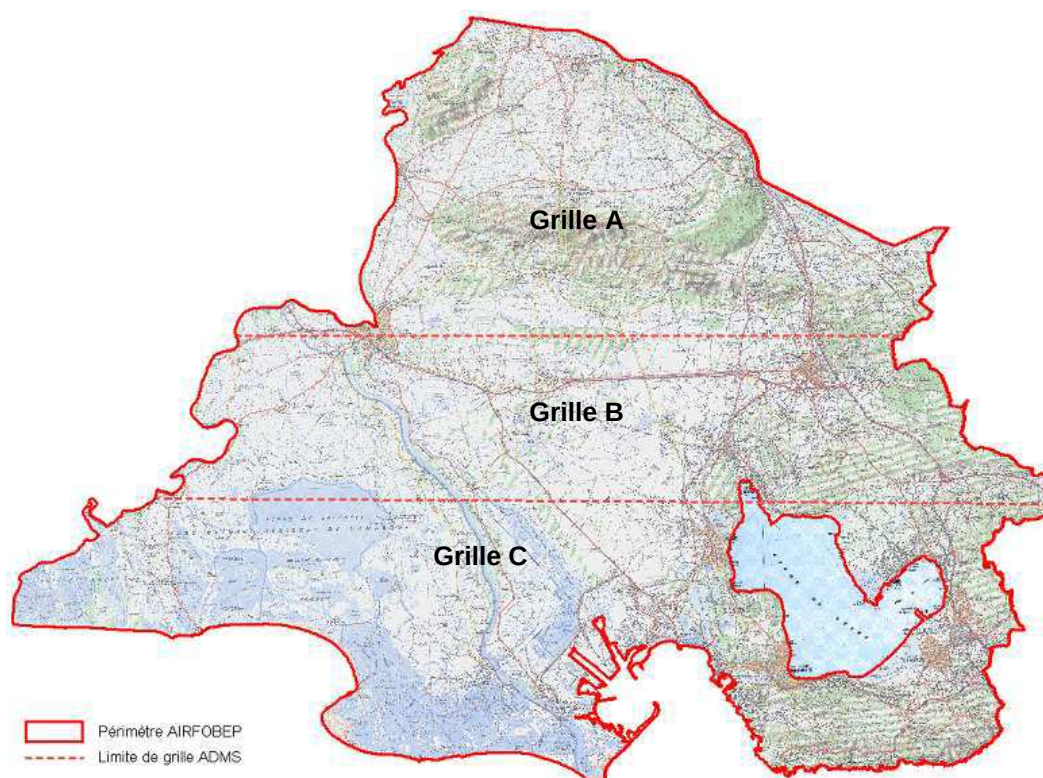
- [55] Parodi S, Stagnaro E, Casella C, Puppo A, Daminelli E, Fontana V *et al.* Lung cancer in an urban area in Northern Italy near a coke oven plant. *Lung Cancer* 2005;47(2):155-64.
- [56] Sans S, Elliott P, Kleinschmidt I, Shaddick G, Pattenden S, Walls P *et al.* Cancer incidence and mortality near the Baglan Bay petrochemical works, South Wales. *Occup Environ Med* 1995; 52:217-24.
- [57] De Freitas CU, Grimaldi Campos RA, Rodrigues Silva MA, Panachão MR, de Moraes JC, Waissmann W *et al.* Can living in the surroundings of a petrochemical complex be a risk factor for autoimmune thyroid disease? *Environ Res* 2010;110(1):112-7.
- [58] White N, TeWaterNaude J, Van der Walt A, Ravenscroft G, Roberts W, Ehrlich R. Meteorologically estimated exposure but not distance predicts asthma symptoms in schoolchildren in the environs of a petrochemical refinery: a cross-sectional study. *Environ Health* 2009;8:45.
- [59] Yogev-Baggio T, Bibi H, Dubnov J, Or-Hen K. Who is affected more by air pollution - Sick or healthy? Some evidence from a health survey of schoolchildren living in the vicinity of a coal-fired power plant in Northern Israel. *Health Place* 2010;16:399-408.
- [60] Smargiassi A, Kosatsky T, Hicks J, Plante C, Armstrong B, Villeneuve PJ *et al.* Risk of asthmatic episodes in children exposed to sulfur dioxide stack emissions from a refinery point source in Montreal, Canada. *Environ Health Perspect* 2009;117(4):653-9.
- [61] Barregard L, Holmberg E, Sallsten G. Leukaemia incidence in people living close to an oil refinery. *Environmental Research* 2009; 109:985-90.
- [62] Couris CM, Ecochard R. Utilisation du PMSI pour l'épidémiologie. Faisabilité, conditions d'utilisation et limites. *Gestions hospitalières* 2005;449:651-4.
- [63] Vergnon P, Morgon E, Dargent S, Benyamine D, Favre M, Perrot L *et al.* Evaluation de la qualité de l'information médicale des Résumés de Sortie Standardisés. *Rev Epidemiol Santé Publique* 1998;46(1):24-33.
- [64] Bretelle F, Muir JF, Nolet P. Optimisation du codage lié à la T2A. Les bonnes pratiques. *Gestions hospitalières* 2007;471:714-6.
- [65] Benjamini Y, Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society Series B* 1995;57:289-300.
- [66] Carstairs V, Morris R. Deprivation: explaining differences in mortality between Scotland and England and Wales. *BMJ* 1989;299:886-9.
- [67] Jarman B. Identification of underprivileged areas. *BMJ* 1983;286:1705-8.
- [68] Barceló MA, Saez M, Saurina C. Spatial variability in mortality inequalities, socioeconomic deprivation, and air pollution in small areas of the Barcelona Metropolitan Region, Spain. *Sci Total Environ* 2009;407(21):5501-23.
- [69] Havard S, Deguen S, Zmirou-Navier D, Schillinger C, Bard D. Traffic-related air pollution and socioeconomic status: a spatial autocorrelation study to assess environmental equity on a small-area scale. *Epidemiology* 2009;20(2):223-30.
- [70] Bilancia M, Fedespina A. Geographical clustering of lung cancer in the province of Lecce, Italy: 1992-2001. *Int J Health Geogr* 2009;8:40.
- [71] Hoffmann B, Kolahgar B, Rauchfuss K, Eberwein G, Franzen-Reuter I, Kraft M *et al.* Childhood social position and associations between environmental exposures and health outcomes. *Int J Hyg Environ health* 2009; 212:146-56.
- [72] Gouveia N, Fletcher T. Times series analysis of air pollution and mortality effects by cause, age and socio-economic status. *J Epidemiol Community Health* 2000;54:750-5.
- [73] Declercq C, Prouvost H. Inégalités sociales d'exposition au NO2 ambiant sur le territoire de Lille Métropole Communauté Urbaine. Lille : ORS Nord-Pas-de-Calais ; 2007. 31 p.

- [74] DGOS. Les chiffres clés de l'offre de soins. Paris : DGOS 2010. 20 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/Chiffres_cles_2010-Version_definitive.pdf.
- [75] Auvray L, Dumesnil S, Le Fur P. Santé, soins et protection sociale en 2000. Paris : Credes ; 2001. 198 p.
- [76] Chaix B, Chauvin P. Influence du contexte de résidence sur les comportements de recours aux soins. L'apport des méthodes d'analyse multiniveaux et spatiales. Paris : Irdes ; 2005, 104. 6 p.
- [77] Etudes et résultats. Santé et recours aux soins des femmes et des hommes. Paris : Drees ; 2010 (717). 8 p.
- [78] Etudes et résultats. Les motifs de recours à l'hospitalisation en court séjour en 2003. Paris : Drees ; 2005 (444). 8 p.
- [79] Brook RD, Rajagopalan S, Pope III CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV *et al.* Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121:2331-78.
- [80] Zanobetti A, Franklin M, Koutrakis P, Schwartz J. Fine Particulate air pollution and its components in association with cause-specific emergency admissions. *Environ Health* 2009;8:58-70.
- [81] Fung KY, Luginaah IN, Gorey KM. Impact of air pollution on hospital admissions in Southwestern Ontario, Canada: generating hypotheses in sentinel high-exposure places. *Environ Health* 2007;6:18.
- [82] Aylin P, Bottle A, Wakefield J, Jarup L, Elliott P. Proximity to coke works and hospital admissions for respiratory and cardiovascular disease in England and Wales. *Thorax* 2001; 56:228-33.
- [83] Lefranc A, Larrieu S. Pollution atmosphérique et risque cardio-vasculaire. Correspondances en risque cardio-vasculaires 2008; 1:9-14.
- [84] Delmas MC, Fuhrman C, pour le groupe épidémiologie et recherche clinique de la SPLF. L'asthme en France. Synthèse des données descriptives. *Rev Mal Respir* 2010;27:151-9.
- [85] De Marco R, Marcon A, Rava M, Cazzoletti L, Pironi V, Silocchi C *et al.* Proximity to chipboard industries increases the risk of respiratory and irritation symptoms in children: the Viadana study. *Sci Total Environ* 2010;408(3):511-7.
- [86] Ginns SE, Gatrell AC. Respiratory health effects of industrial air pollution: a study in east Lancashire, UK. *J Epidemiol and Commun Health* 1996;50:631-5.
- [87] Pless-Mulloli T, Howel D, Prince H. Prevalence of asthma and other respiratory symptoms in children living near and away from opencast coal mining sites. *Int J Epidemiol* 2001;30(3):556-63.
- [88] Kohlammer Y, Rzehak P, Behr J, Wichmann E, Heinrich J. High Prevalence of Pneumonia in Children of a Smelter Town. *Int J Occup Environ Health* 2007;13:167-74.
- [89] Morris DL, Barker PJ, Legator MS. Symptoms of adverse health effects among residents from communities surrounding chemical-industrial complexes in Southeast Texas. *Arch Environ Health* 2004;59(3):160-5.
- [90] Bhopal RS, Moffatt S, Pless-Mulloli T, Phillimore PR, Foy C, Dunn CE *et al.* Does living near a constellation of petrochemical, steel, and other industries impair health? *Occup Environ Med* 1998;55:812-22.
- [91] Smith MT. Advances in understanding benzene health effects and susceptibility. *Annu Rev Public Health* 2010;31:133-48.
- [92] García-Pérez J, López-Cima MF, Boldo E, Fernández-Navarro P, Aragonés N, Pollán M *et al.* Leukemia-related mortality in towns lying in the vicinity of metal production and processing installations. *Environ Int* 2010;36(7):746-53.
- [93] Yu CL, Wang SF, Pan PC, Wu MT, Ho CK, Smith TJ *et al.* Residential Exposure to Petrochemicals and the Risk of Leukemia: Using Geographic Information System Tools to Estimate Individual-Level Residential Exposure. *Am J Epidemiol* 2006;164:200-7.

- [94] Axelsson G, Barregard L, Holmberg E, Sallsten G. Cancer incidence in a petrochemical industry area in Sweden. *Sci Total Environ* 2010;408:4482-7.
- [95] Tsai SP, Wendt JK, Cardarelli KM, Fraser AE. A mortality and morbidity study of refinery and petrochemical employees in Louisiana. *Occup Environ Med* 2003;60:627-33.
- [96] Glass DC, Gray CN, Jolley DJ, Gibbons C, Sim MR, Fritschi L *et al*. Leukemia risk associated with low-level benzene exposure. *Epidemiology* 2003;14(5):569-77.

Annexes

Annexe 1 - Grilles de calcul pour la modélisation des PM₁₀



Source : Airfobep 2010.

Les caractéristiques de chaque grille en termes de résolution et de points de grille sont les suivantes :

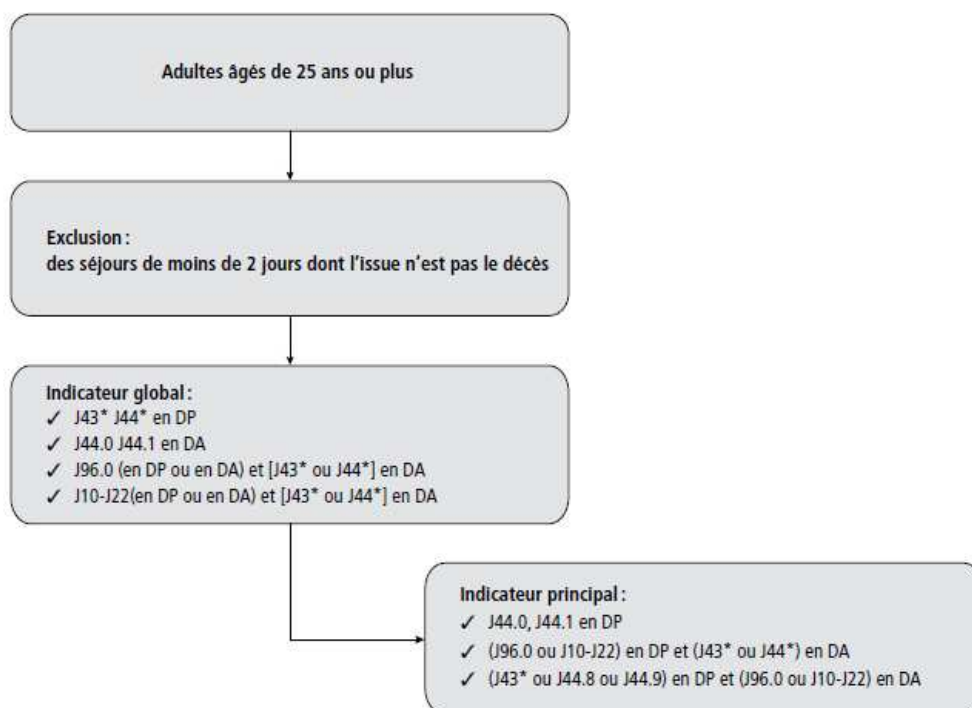
- grille A :
 - résolution spatiale (horizontale et verticale) : 1 km,
 - nombre de points de grille : 9 180 ;
- grille B :
 - résolution spatiale (horizontale et verticale) : au minimum 500 m sur l'est de la zone et au maximum 1,3 km sur l'ouest de la zone,
 - nombre de points de grille : 9 488 ;
- grille C :
 - résolution spatiale (horizontale et verticale) : au minimum 500 m sur l'est de la zone et au maximum 1,3 km sur l'ouest de la zone,
 - nombre de points de grille : 9 060.

Annexe 2 - Définition des indicateurs d'hospitalisation

Tableau 2a - Codes utilisés pour définir les hospitalisations pour cardiopathies ischémiques, infarctus du myocarde (IDM), arythmie cardiaque, BPCO et infections respiratoires

Etudes	Pathologies	Diagnostic principal (DP)		Diagnostics associés (DA)	
		CIM 9	CIM 10	CIM 9	CIM 10
Cardiopathies ischémiques et infarctus du myocarde (IDM)					
Zanobetti 2007	IDM	410	I21-I22		
Lanki 2006	1 ^{er} IDM	410	I21-I22	Exclus 412	Exclus I25.2
Mann 2002	Ischémie cardiaque	410-414			
Von Klot 2006	IDM	410	I21-I22		
Cendon 2006	IDM		I21-I22		
Arythmie cardiaque					
Peters 2006	Pace maker et arythmie	-	-	-	-
Vedal 2004	Pace maker et arythmie				
Mann 2002	Cardiopathie ischémique avec arythmie associée	410-414	I20-I25	426- 427	I44-I49
Broncho-pneumopathie obstructive					
Ko 2007	Bronchite chronique	491, 492, 496	J41-J44		
Medina-Ramon 2006	Bronchite chronique	490-496 sauf 493	J40-J44, J47, J67		
Yang 2005	Bronchite chronique	490-492, 494, 496	J40-J44, J47		
Dominici 2006	Bronchite chronique	490-492	J40-J44		
Furhman 2009	Exacerbation de BPCO	algorithme	algorithme		
Infections respiratoires					
Lin 2005	Infections respiratoires	464-466, 480-487	J04-J06, J20-J22, J10-J18		
Fusco 2001	Infections respiratoires	460-466, 480-486	J00-J06, J20-J22, J12-J18		
Dominici 2006	Infections respiratoires	464-466, 480-487	J04-J06, J20-J22, J10-J18		

Figure 2a - Algorithme de sélection des indicateurs retenus pour les exacerbations de BPCO



Source : InVS.

Annexe 3 - Fréquence des réadmissions au cours de la période d'étude pour chaque indicateur d'hospitalisation.

Figure 3a - Fréquence des réadmissions sur la période d'étude pour chaque indicateur cardio-vasculaire, région Paca, PMSI 2004-2007

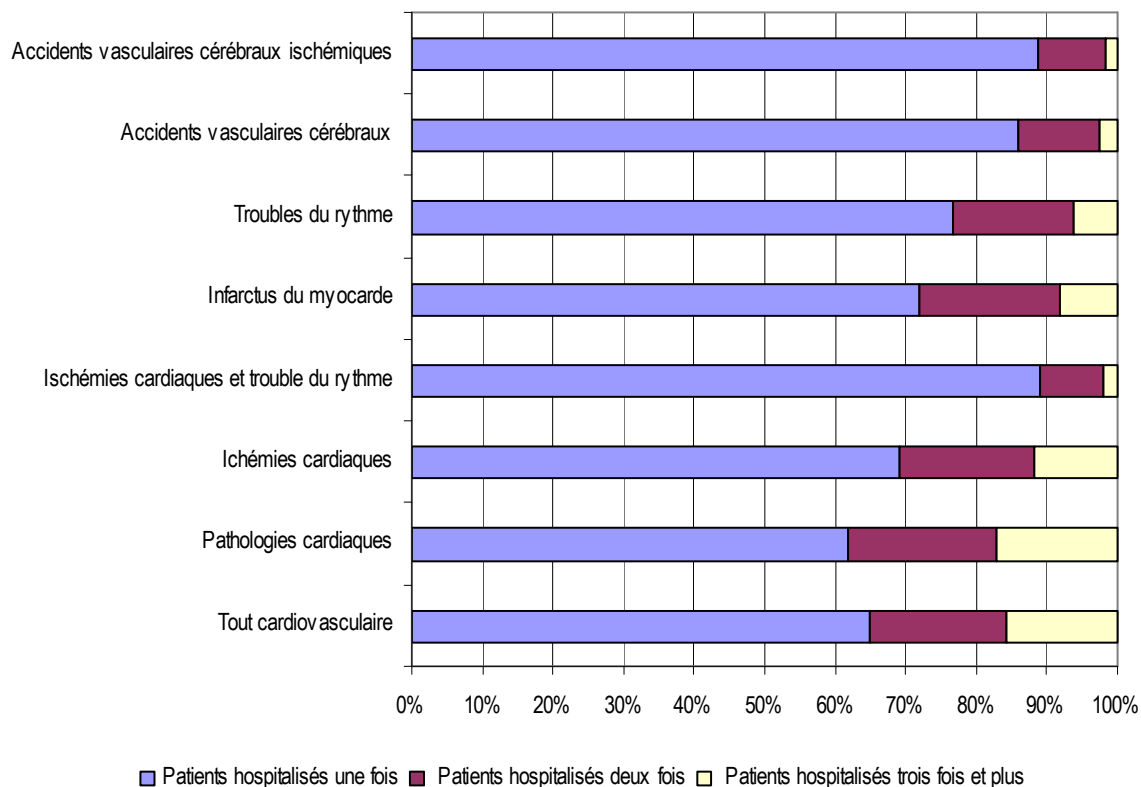


Figure 3b - Fréquence des réadmissions sur la période d'étude pour chaque indicateur respiratoire, région Paca, PMSI 2004-2007

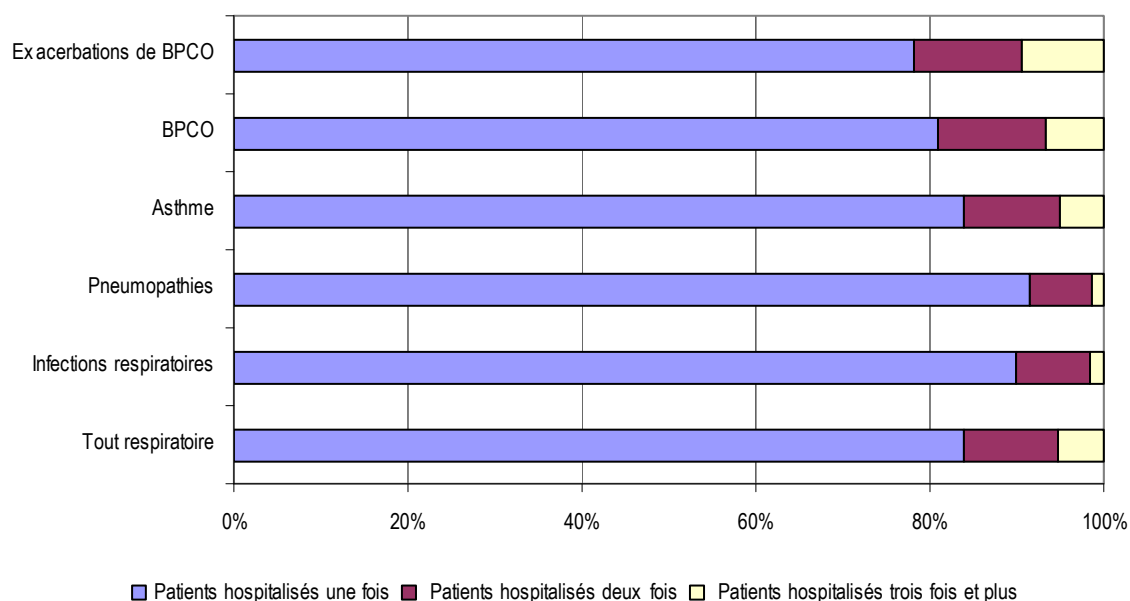
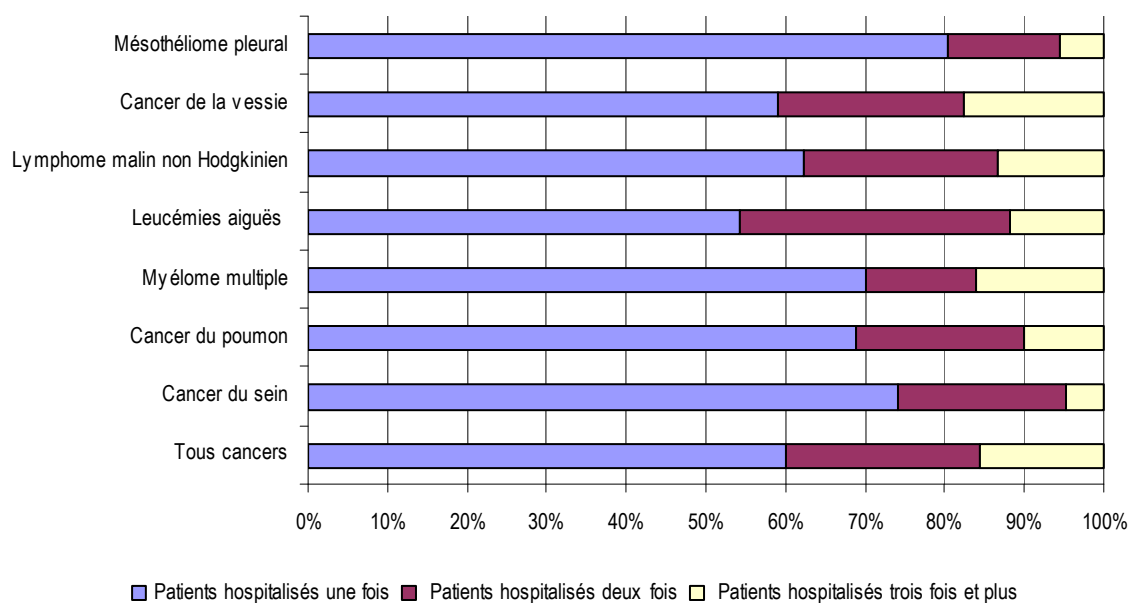


Figure 3c - Fréquence des réadmissions sur la période d'étude pour chaque indicateur de pathologie cancéreuse, région Paca, PMSI 2004-2007



Annexe 4 - Nombre de patients hospitalisés sur la période d'étude pour chaque indicateur sanitaire en région Paca

Tableau 4a - Nombre de patients hospitalisés sur la période d'étude pour chaque indicateur sanitaire, région Paca, PMSI 2004-2007

Indicateurs d'hospitalisation	Nombre de patients hospitalisés en Paca
Cardio-vasculaires	
Toutes pathologies cardio-vasculaires	306 823
Toutes pathologies cardiaques	169 953
Ischémies cardiaques	47 316
Ischémies cardiaques associées à un trouble du rythme	8 902
Infarctus du myocarde	17 048
Troubles du rythme	44 398
Pathologies cérébrovasculaires	35 911
Pathologies cérébrovasculaires ischémiques	28 569
Respiratoires	
Toutes pathologies respiratoires	173 134
Infections respiratoires	53 292
Pneumopathies	35 813
Asthme tous âges	10 791
Bronchite chronique obstructive	15 071
Exacerbations de BPCO	15 881
Cancéreuses	
Tous cancers	148 063
Cancer du sein	19 682
Cancer du poumon	11 648
Myélome multiple	1 663
Leucémies aiguës	1 661
Lymphome malin non hodgkinien (LMNH)	4 027
Cancer de la vessie	10 434
Mésothéliome pleural	401

Annexe 5 - Caractéristiques sociodémographiques de la zone d'étude

Tableau 5a - Population pour les communes de la zone d'étude et la région Paca, recensement 2006.

Communes	Population	Superficie (km ²)	Densité (hab. / km ²)	Part (%) des moins de 15 ans	Part (%) des plus de 65 ans
La Barben	706	22,85	31	20,3	11,8
Berre-l'Étang	13 953	43,64	317	22,2	14,2
Carry-le-Rouet	6 358	10,10	636	13,7	22,7
Châteauneuf-les-Martigues	11 829	31,65	370	17,3	17,5
Cornillon-Confoux	1 304	14,95	87	17,8	14,6
Coudoux	3 292	12,65	260	24,0	11,9
Ensuès-la-Redonne	5 096	25,83	197	21,2	11,6
La Fare-les-Oliviers	6 476	13,98	463	17,3	16,4
Fos-sur-Mer	15 734	92,31	171	20,4	10,2
Gignac-la-Nerthe	9 310	8,64	1 034	18,2	11,1
Grans	4 033	27,60	146	18,2	17,3
Istres	42 090	113,73	369	18,7	12,8
Lançon-Provence	7 530	68,92	109	20,5	10,6
Marignane	32 921	23,16	1 431	18,8	15,7
Martigues	46 318	71,44	652	17,6	16,7
Miramas	24 517	25,74	943	20,5	13,4
Pélissanne	9 049	19,11	473	19,2	16,6
Port-de-Bouc	17 529	11,46	1 594	17,1	19,5
Port-Saint-Louis-du-Rhône	8 483	73,38	116	17,9	17,9
Rognac	11 883	17,46	699	18,5	12,0
Le Rove	4 077	22,97	177	15,3	17,8
Saint-Chamas	7 268	26,71	269	25,5	19,9
Saint-Mitre-les-Remparts	5 362	21,02	255	14,3	14,0
Saint-Victoret	6 566	4,73	1 313	16,7	13,2
Salon-de-Provence	40 147	70,30	571	18,3	17,4
Sausset-les-Pins	7 278	12,10	607	14,6	19,6
Velaux	8 221	25,23	329	19,0	12,9
Ventabren	4 842	26,32	184	19,1	12,5
Vitrolles	37 190	36,58	1 005	21,4	10,6
Total de la zone Étang de Berre	399 362	974,56	410	18,8	14,8
Total Paca	4 815 232	31 400	153	17,3	19,0

Source : Insee recensement 2006.

Tableau 5b - Répartition en pourcentage des catégories socioprofessionnelles des actifs dans les communes de la zone d'étude, 2006

Communes PMSI	Hommes						Femmes					
	CSP 1	CSP 2	CSP 3	CSP 4	CSP 5	CSP 6	CSP 1	CSP 2	CSP 3	CSP 4	CSP 5	CSP 6
Berre-l'Étang	2	7	4	24	15	48	2	4	5	23	56	10
Carry-le-Rouet	0	14	34	27	11	14	0	6	20	35	39	1
Châteauneuf-les-Martigues	1	8	11	26	13	41	1	4	6	28	54	7
Coudoux	1	8	30	31	11	19	1	2	17	31	46	3
Ensues-la-Redonne	0	10	29	30	14	16	0	4	16	40	36	4
La Fare-les-Oliviers	1	10	25	26	8	30	0	4	11	36	44	5
Fos-sur-Mer	0	5	8	31	16	40	0	3	5	23	62	7
Gignac-la-Nerthe	0	6	12	26	16	41	0	4	7	27	55	7
Grans	3	6	26	26	10	28	2	2	17	28	45	6
Istres	0	4	12	31	19	33	0	3	8	27	55	7
Lañon-Provence	2	13	20	26	10	28	1	7	12	30	45	4
Marignane	0	7	11	27	14	41	0	3	7	24	57	8
Martigues	1	6	14	28	12	39	0	3	11	26	54	6
Miramas	0	5	7	25	13	50	0	4	5	23	56	12
Pélissanne	0	9	25	29	10	26	0	3	16	36	39	4
Port-de-Bouc	1	7	7	22	11	53	0	3	4	23	59	11
Port-Saint-Louis-du-Rhône	4	5	4	15	14	58	0	5	5	17	60	12
Rognac	0	7	13	29	12	38	0	4	7	27	55	8
Le Rove	1	11	19	28	8	34	0	4	11	37	43	5
Saint-Chamas	2	9	20	29	11	29	1	4	15	29	42	10
Saint-Mitre-les-Remparts	1	6	21	30	13	29	1	4	14	33	45	3
Saint-Victoret	1	11	8	28	13	39	0	5	7	26	58	4
Salon-de-Provence	1	6	18	26	16	33	1	4	10	27	51	7
Sausset-les-Pins	0	15	28	27	11	19	0	4	22	32	41	1
Velaux	0	10	28	33	10	20	0	3	17	35	42	3
Ventabren	0	14	43	25	7	11	0	8	28	32	31	2
Vitrolles	0	6	12	26	16	40	0	2	7	26	55	10

CSP 1 : Agriculteurs exploitants ; CSP 2 : Artisans, commerçants et chefs d'entreprises ; CSP 3 : Cadres et professions intellectuelles supérieures ; CSP 4 : Professions intermédiaires ; CSP 5 : Employés ; CSP6 : Ouvriers

Source : Insee recensement 2006.

Annexe 6 - Moyennes annuelles des stations fixes du réseau Airfobep situées sur la zone d'étude

Tableau 6a - Moyennes annuelles en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des stations fixes du réseau Airfobep situées sur la zone d'étude, 2008

Station	Type de station	Moyenne annuelle en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		SO ₂	PM ₁₀
Berre-l'Étang	Urbain	7	-
Berre / Magasin	Urbain	4	-
Carry-le-Rouet	Industriel	6	-
Châteauneuf / La Mède	Industriel	5	-
Châteauneuf-les-Martigues	Industriel	4	32
Fos-sur-Mer	Urbain	15	-
Fos-sur-Mer / les Carabins	Urbain	2	31
Istres	Urbain	5	-
La Fare-les-Oliviers	Industriel	5	-
Marignane / Ville	Urbain	-	33
Martigues / La Couronne	Industriel	8	-
Martigues / La Gatasse	Industriel	10	-
Martigues / Lavéra	Industriel	9	-
Martigues / Le Pati	Industriel	6	-
Martigues / Les Laurons	Industriel	18	-
Martigues / Les Ventrons	Industriel	10	-
Martigues / L'Île	Urbain	7	27
Martigues / NDM	Urbain	4	-
Miramas / Centre-ville	Urbain	6	28
Port-de-Bouc / Castillon	Industriel	11	-
Port-de-Bouc / EDF	Urbain	10	-
Port-de-Bouc / La lègue	Urbain	15	32
Port-St-Louis-du-Rhône	Industriel	4	29
Rognac / Les Barjaquets	Industriel	4	27
Salon-de-Provence	Urbain	4	31
Sausset-les-Pins	Industriel	10	-
Vitrolles	Urbain	7	-

Source : Airfobep, Bilan 2008.

Annexe 7 - Nombres d'hospitalisations observés et attendus, SHR et leur distribution selon les niveaux d'exposition au SO₂.

Tableau 7a - Nombre de cas observés et attendus, SHR et leur distribution pour les hospitalisations de causes cardio-vasculaires, selon les niveaux d'exposition au SO₂, pour les hommes et les femmes, PMSI 2004-2007

	Indicateurs hospitalisations	Exposition	Observé	Attendu	SHR	Min	P25	P50	P75	Max	PW test ^a
Hommes	Tout cardio-vasculaire	E0	3 599	3 220	1,12	0,94	1,07	1,13	1,18	1,18	<0,0001
		E1	6 417	5 363	1,20	1,01	1,11	1,16	1,21	1,38	
		E2	4 148	3 743	1,11	1,03	1,06	1,09	1,15	1,33	
	Toutes pathologies cardiaques	E0	2 160	1 924	1,12	0,98	1,06	1,13	1,16	1,25	<0,0001
		E1	3 980	3 171	1,26	1,09	1,14	1,22	1,31	1,51	
		E2	2 562	2 252	1,14	1,07	1,08	1,13	1,15	1,40	
	Ischémies cardiaques	E0	760	621	1,22	1,03	1,14	1,21	1,29	1,33	<0,0001
		E1	1 459	1 036	1,41	0,89	1,30	1,45	1,64	1,88	
		E2	971	725	1,34	1,13	1,29	1,38	1,40	1,67	
	Ischémies cardiaques et trouble du rythme	E0	138	103	1,34	0,77	1,14	1,26	1,65	2,17	0,005
		E1	214	165	1,29	0,76	0,93	1,30	1,66	1,92	
		E2	172	121	1,43	1,03	1,12	1,36	1,81	2,13	
	Infarctus du myocarde	E0	253	225	1,12	0,64	0,82	1,15	1,30	1,52	0,02
		E1	470	376	1,25	0,72	1,08	1,28	1,38	1,84	
		E2	367	261	1,40	1,21	1,26	1,40	1,50	1,78	
	Troubles du rythme cardiaque	E0	554	462	1,20	0,84	1,01	1,21	1,23	1,43	0,06
		E1	988	746	1,32	1,09	1,26	1,36	1,51	1,67	
		E2	737	540	1,37	1,21	1,26	1,35	1,52	1,57	
	Accident vasculaire cérébral	E0	340	321	1,06	0,60	0,80	1,07	1,15	1,32	0,14
		E1	542	518	1,05	0,70	0,98	1,03	1,14	1,45	
		E2	448	375	1,20	0,81	1,11	1,20	1,29	1,38	
Femmes	Tout cardio-vasculaire	E0	3 088	2 584	1,20	1,04	1,14	1,20	1,24	1,56	<0,0001
		E1	5 427	4 164	1,30	1,04	1,13	1,27	1,36	1,54	
		E2	3 246	2 781	1,17	1,08	1,10	1,12	1,28	1,35	
	Toutes pathologies cardiaques	E0	1 454	1 216	1,20	0,78	1,03	1,18	1,28	1,77	<0,0001
		E1	2 653	1 875	1,41	0,98	1,18	1,26	1,60	1,83	
		E2	1 642	1 297	1,27	1,09	1,14	1,19	1,37	1,56	
	Ischémies cardiaques	E0	332	285	1,17	0,66	0,96	1,16	1,45	2,03	<0,0001
		E1	702	446	1,57	0,96	1,25	1,40	1,83	2,40	
		E2	458	307	1,49	0,78	1,27	1,51	1,58	2,15	
	Ischémies cardiaques et trouble du rythme	E0	81	56	1,45	0,57	1,22	1,40	1,62	2,24	0,34
		E1	127	83	1,54	0,77	1,17	1,56	1,61	3,56	
		E2	76	59	1,30	1,10	1,13	1,21	1,55	1,73	
	Infarctus du myocarde	E0	93	97	0,96	0,21	0,57	0,92	1,08	1,89	0,35
		E1	201	147	1,37	0,91	1,32	1,37	1,52	1,83	
		E2	160	102	1,57	0,83	1,06	1,53	1,81	1,96	
	Troubles du rythme cardiaque	E0	442	337	1,31	0,90	0,96	1,17	1,51	1,72	<0,0005
		E1	716	516	1,39	0,95	1,08	1,30	1,70	1,96	
		E2	542	359	1,51	1,09	1,34	1,50	1,60	1,77	
	Accident vasculaire cérébral	E0	320	313	1,02	0,61	0,84	0,92	1,23	1,83	<0,0001
		E1	553	470	1,18	0,56	1,07	1,17	1,32	1,72	
		E2	342	328	1,04	0,68	0,82	0,86	1,05	1,46	

E0 : niveaux de SO₂ inférieurs à 4,2 µg/m³ ; E1 : niveaux de SO₂ compris entre 4,2 µg/m³ et 6,4 µg/m³ ; E2 : niveaux de SO₂ supérieurs à 6,4 µg/m³.

^a Test de Potthoff-Whittinghill seuil de significativité.

Tableau 7b - Nombres de cas observés et attendus, SHR et leur distribution pour les hospitalisations pour pathologies respiratoires, selon les niveaux d'exposition au SO₂, pour les hommes et les femmes et les enfants, PMSI 2004-2007

	Indicateurs hospitalisations	Exposition	Observé	Attendu	SHR	Min	P25	P50	P75	Max	PW test ^a
Hommes	Toutes pathologies respiratoires	E0	1 355	1 262	1,07	0,91	0,96	1,07	1,13	1,33	<0,000 1
		E1	2 534	2 135	1,19	0,78	1,05	1,10	1,23	1,53	
		E2	1 750	1 436	1,22	0,89	1,19	1,25	1,32	1,36	
	Pneumopathies	E0	331	297	1,11	0,46	0,70	0,87	1,31	1,58	<0,000 1
		E1	514	484	1,06	0,71	0,83	0,97	1,13	1,41	
		E2	423	344	1,23	0,64	1,11	1,21	1,41	1,47	
	Infections respiratoires	E0	381	354	1,08	0,51	0,71	0,84	1,23	1,53	<0,000 4
		E1	603	579	1,04	0,63	0,82	0,90	1,18	1,34	
		E2	510	412	1,24	0,70	1,14	1,26	1,36	1,40	
	Asthme	E0	32	34	0,94	0	0,41	0,67	0,96	2,04	0,54
		E1	62	60	1,03	0,42	0,61	0,95	1,29	1,58	
		E2	42	38	1,11	0,74	0,79	1,09	1,16	1,84	
	BPCO	E0	188	185	1,02	0,22	0,71	0,95	1,11	2,30	<0,000 1
		E1	405	305	1,33	0,59	0,87	0,94	1,35	2,27	
		E2	268	218	1,23	0,23	1,15	1,30	1,37	1,46	
	Exacerbations de BPCO	E0	212	166	1,28	0,57	0,73	0,97	1,31	1,99	<0,000 1
		E1	374	266	1,41	0,56	0,75	1,13	1,48	2,32	
		E2	264	196	1,35	0,44	1,03	1,30	1,45	2,39	
Femmes	Tout respiratoire	E0	1 056	1 033	1,02	0,70	0,90	0,99	1,10	1,54	<0,000 1
		E1	2 098	1 747	1,20	0,77	1,04	1,12	1,30	1,42	
		E2	1 269	1 131	1,12	1,02	1,04	1,10	1,22	1,30	
	Pneumopathies	E0	308	251	1,23	0,71	0,93	1,14	1,37	1,79	<0,000 3
		E1	433	394	1,10	0,36	0,83	1,04	1,33	1,43	
		E2	360	266	1,35	0,99	1,05	1,15	1,37	1,88	
	Infections respiratoires	E0	366	317	1,15	0,69	0,96	1,18	1,26	1,68	<0,000 5
		E1	549	497	1,10	0,59	0,80	1,14	1,27	1,43	
		E2	443	336	1,32	0,91	1,07	1,22	1,36	1,75	
	Asthme	E0	65	65	1,00	0,50	0,59	0,97	1,31	1,50	0,34
		E1	126	115	1,10	0	0,91	1,24	1,28	1,56	
		E2	98	73	1,34	0,75	1,04	1,29	1,47	2,05	
	BPCO	E0	72	90	0,80	0	0,48	0,71	1,03	1,44	0,002
		E1	172	149	1,15	0,27	0,76	0,92	1,32	2,50	
		E2	107	100	1,07	0,79	0,94	1,02	1,11	1,33	
	Exacerbations de BPCO	E0	84	79	1,06	0	0,39	1,06	1,17	1,54	0,01
		E1	173	125	1,38	0,36	0,88	1,25	1,60	2,80	
		E2	106	86	1,23	0,60	0,97	1,12	1,51	1,64	
Enfants	Tout respiratoire	E0	1 481	1 219	1,22	0,61	0,87	0,98	1,25	1,65	<0,000 1
		E1	2 999	2 271	1,32	0,54	0,92	1,14	1,46	1,61	
		E2	1 565	1 282	1,22	0,79	1,00	1,10	1,42	1,69	
	Pneumopathies	E0	151	109	1,38	0,19	0,50	0,93	1,12	1,73	<0,000 1
		E1	194	203	0,95	0	0,55	0,97	1,28	2,10	
		E2	125	115	1,09	0,26	0,78	1,11	1,33	2,71	
	Infections respiratoires	E0	510	350	1,46	0,29	0,51	0,91	1,41	2,31	<0,000 1
		E1	714	653	1,09	0	0,68	0,90	1,27	1,98	
		E2	498	364	1,37	0,60	0,97	1,19	1,52	2,48	
	Asthme	E0	145	135	1,07	0	0,59	0,69	1,01	2,09	<0,000 5
		E1	213	251	0,85	0	0,63	0,87	0,96	1,30	
		E2	154	142	1,08	0,38	0,58	0,84	1,33	1,57	

E0 : niveaux de SO₂ inférieurs à 4,2 µg/m³ ; E1 : niveaux de SO₂ compris entre 4,2 µg/m³ et 6,4 µg/m³ ; E2 : niveaux de SO₂ supérieurs à 6,4 µg/m³.

^a Test de Potthoff-Whittinghill seuil de significativité.

Tableau 7c - Nombres de cas observés et attendus, SHR et leur distribution pour les hospitalisations pour pathologies cancéreuses, selon les niveaux d'exposition au SO₂, pour les hommes et les femmes, PMSI 2004-2007

	Indicateurs hospitalisations	Exposition	Observé	Attendu	SHR	Min	P25	P50	P75	Max	PW test ^a
Hommes	Tout cancer	E0	1 518	1 500	1,01	0,83	0,93	1,02	1,05	1,15	0,02
		E1	2 410	2 485	0,97	0,89	0,95	0,99	1,05	1,08	
		E2	1 595	1 785	0,89	0,84	0,86	0,89	0,92	1,11	
	Cancer du poumon	E0	162	170	0,95	0,46	0,70	0,93	0,99	1,16	0,72
		E1	289	284	1,02	0,39	0,96	1,04	1,13	1,24	
		E2	224	202	1,11	0,81	1,04	1,18	1,28	1,38	
	Cancer de la vessie	E0	136	157	0,87	0,23	0,43	0,86	1,06	1,32	0,003
		E1	174	253	0,69	0,43	0,60	0,67	0,76	1,27	
		E2	119	186	0,64	0,40	0,48	0,61	0,72	1,28	
	Lymphome malin non hodgkinien (LMNH)	E0	59	42	1,42	0,56	0,82	1,58	2,32	2,96	0,16
		E1	76	70	1,08	0,29	1,03	1,08	1,48	1,70	
		E2	39	49	0,79	0,36	0,47	0,79	1,00	1,13	
	Leucémie aiguë	E0	13	15	0,85	0	0,24	1,03	1,37	4,02	0,40
		E1	32	26	1,23	0	1,038	1,17	1,63	2,42	
		E2	27	18	1,51	0	1,17	1,82	2,47	3,74	
	Myélome multiple	E0	15	16	0,96	0	0	1,06	1,31	2,91	0,23
		E1	27	26	1,05	0	0,37	0,96	1,91	2,51	
		E2	23	19	1,24	0	0,69	1,28	1,57	2,69	
Femmes	Tout cancer	E0	1 335	1 278	1,04	0,85	0,95	1,05	1,12	1,25	0,05
		E1	2 080	2 127	0,98	0,90	0,97	0,98	1,09	1,20	
		E2	1 409	1 412	1,00	0,86	0,92	0,98	1,01	1,31	
	Cancer du sein	E0	399	384	1,04	0,60	1,01	1,08	1,16	1,36	0,05
		E1	641	657	0,98	0,75	0,95	0,97	1,15	1,33	
		E2	383	427	0,90	0,64	0,68	0,88	1,03	1,11	
	Cancer du poumon	E0	54	55	0,98	0	0,50	0,89	1,18	2,78	0,19
		E1	78	92	0,85	0	0,71	0,84	0,97	1,65	
		E2	72	61	1,18	0,71	0,88	1,11	1,44	1,71	
	Cancer de la vessie	E0	25	34	0,73	0	0	0,50	0,79	1,33	0,84
		E1	39	54	0,73	0,54	0,64	0,68	1,04	1,37	
		E2	22	37	0,59	0	0,40	0,59	0,71	0,75	
	Lymphome malin non hodgkinien (LMNH)	E0	35	34	1,04	0	0,21	1,06	1,30	2,84	0,62
		E1	56	55	1,01	0,60	0,779	1,15	1,33	2,38	
		E2	40	37	1,07	0,47	0,75	1,01	1,20	1,66	
	Leucémie aiguë	E0	16	12	1,33	0	0	0	1,39	6,19	0,03
		E1	21	20	1,06	0	0,68	0,79	1,73	6,94	
		E2	12	13	0,91	0,48	0,72	1,31	1,36	2,12	
	Myélome multiple	E0	18	15	1,21	0	0	0,85	1,50	3,51	0,36
		E1	26	24	1,10	0	0,18	0,87	1,34	2,21	
		E2	12	16	0,74	0	0,14	0,63	1,05	1,49	

E0 : niveaux de SO₂ inférieurs à 4,2 µg/m³ ; E1 : niveaux de SO₂ compris entre 4,2 µg/m³ et 6,4 µg/m³ ; E2 : niveaux de SO₂ supérieurs à 6,4 µg/m³.

^a Test de Potthoff-Whittinghill seuil de significativité.

Annexe 8 - Risques relatif d'hospitalisation estimés pour une exposition à des niveaux de PM₁₀ moyens ou élevés par rapport à un niveau de référence

Tableau 8a - Risque relatif (RR) d'hospitalisation et intervalle de crédibilité à 95 % (IC 95 %) pour les différents indicateurs sanitaires estimés pour une exposition à des niveaux de PM₁₀ moyens ou élevés par rapport à un niveau de référence, chez les hommes et les femmes

Indicateurs hospitalisations	Exposition	Hommes		Femmes	
		RR	IC 95 %	RR	IC 95 %
Toutes pathologies cardio-vasculaires	Référence ^a	1		1	
	Moyenne ^b	0,92	[0,85 - 1,01]	0,91	[0,83 - 1,02]
	Élevée ^c	0,98	[0,86 - 1,09]	1,02	[0,91 - 1,16]
Toutes pathologies cardiaques	Référence	1		1	
	Moyenne	0,88	[0,81 - 0,97]	0,86	[0,73 - 1,04]
	Élevée	0,97	[0,87 - 1,09]	1,04	[0,78 - 1,36]
Ischémie cardiaque	Référence	1		1	
	Moyenne	0,90	[0,77 - 1,05]	0,80	[0,61 - 1,05]
	Élevée	1,12	[0,94 - 1,33]	1,19	[0,89 - 1,60]
Infarctus du myocarde	Référence	1		1	
	Moyenne	1,14	[0,92 - 1,42]	0,87	[0,71 - 1,09]
	Élevée	0,89	[0,69 - 1,15]	0,96	[0,75 - 1,27]
Troubles du rythme cardiaque	Référence	1		1	
	Moyenne	0,96	[0,85 - 1,11]	0,87	[0,68 - 1,11]
	Élevée	0,85	[0,73 - 1,00]	1,06	[0,82 - 1,40]
Ischémie cardiaque associée à un trouble du rythme cardiaque	Référence	1		1	
	Moyenne	0,81	[0,60 - 1,09]	0,95	[0,68 - 1,33]
	Élevée	0,85	[0,60 - 1,20]	1,18	[0,82 - 1,71]
Accident vasculaire cérébral	Référence	1		1	
	Moyenne	0,98	[0,83 - 1,17]	1,17	[0,85 - 1,58]
	Élevée	0,90	[0,74 - 1,10]	0,97	[0,66 - 1,38]
Toutes pathologies respiratoires	Référence	1		1	
	Moyenne	1,03	[0,92 - 1,14]	1,11	[0,98 - 1,23]
	Élevée	1,17	[1,03 - 1,33]	1,34	[1,16 - 1,52]
Infections respiratoires	Référence	1		1	
	Moyenne	1,08	[0,88 - 1,34]	1,15	[0,92 - 1,41]
	Élevée	0,82	[0,64 - 1,07]	0,95	[0,74 - 1,23]
Pneumopathies	Référence	1		1	
	Moyenne	1,03	[0,84 - 1,27]	1,08	[0,85 - 1,37]
	Élevée	0,83	[0,64 - 1,07]	0,87	[0,64 - 1,16]
Exacerbations de BPCO	Référence	1		1	
	Moyenne	0,85	[0,62 - 1,16]	0,93	[0,67 - 1,30]
	Élevée	1,34	[0,95 - 1,87]	1,40	[0,98 - 2,01]
Tous cancers	Référence	1		1	
	Moyenne	0,95	[0,87 - 1,04]	0,98	[0,90 - 1,07]
	Élevée	0,95	[0,85 - 1,06]	0,94	[0,86 - 1,04]
Cancer du poumon	Référence	1		1	
	Moyenne	1,07	[0,87 - 1,32]	1,09	[0,71 - 1,67]
	Élevée	0,91	[0,71 - 1,18]	0,86	[0,52 - 1,42]
Cancer du sein	Référence	-	-	1	

	Moyenne	-	-	1,02	[0,87 - 1,20]
	Élevée	-	-	1,06	[0,88 - 1,26]
	Référence	1		1	
Cancer de la vessie	Moyenne	0,81	[0,56 - 1,16]	1,15	[0,60 - 2,20]
	Élevée	0,84	[0,55 - 1,29]	1,19	[0,56 - 2,53]
	Référence	1		1	
Leucémies aiguës	Moyenne	0,97	[0,47 - 2,04]	1,48	[0,52 - 4,46]
	Élevée	0,85	[0,37 - 1,98]	2,07	[0,63 - 7,58]
	Référence	1		1	
Myélome multiple	Moyenne	1,16	[0,48 - 2,97]	0,76	[0,32 - 1,74]
	Élevée	1,56	[0,57 - 4,26]	0,52	[0,16 - 1,43]
	Référence	1		1	
Lymphome malin non hodgkinien (LMNH)	Moyenne	0,67	[0,44 - 1,03]	0,84	[0,50 - 1,45]
	Élevée	0,89	[0,56 - 1,46]	0,95	[0,52 - 1,90]

^a concentrations PM₁₀ inférieures ou égale à 29,3 µg/m³ ; ^b concentrations PM₁₀ entre 29,3 et 32,2 µg/m³ ; ^c concentrations PM₁₀ supérieures à 32,2 µg/m³.

Tableau 8b - Risque relatif (RR) d'hospitalisation et intervalle de crédibilité à 95 % (IC 95 %) pour les différents indicateurs sanitaires estimés pour une exposition à des niveaux de PM₁₀ moyens ou élevés par rapport à un niveau de référence, chez les enfants

Indicateurs hospitalisations	Exposition	Enfants	
		RR	IC 95 %
Toutes pathologies respiratoires	Référence ^a	1	
	Moyenne ^b	0,90	[0,77 - 1,05]
	Élevée ^c	1,12	[0,93 - 1,33]
Infections respiratoires	Référence	1	
	Moyenne	1,03	[0,70 - 1,59]
	Élevée	0,93	[0,59 - 1,51]
Pneumopathies	Référence	1	
	Moyenne	1,03	[0,77 - 1,39]
	Élevée	0,85	[0,60 - 1,19]
Asthme	Référence	1	
	Moyenne	1,12	[0,68 - 1,96]
	Élevée	1,08	[0,61 - 1,97]

^a concentrations PM₁₀ inférieures ou égale à 29,3 µg/m³ ; ^b concentrations PM₁₀ entre 29,3 et 32,2 µg/m³ ; ^c concentrations PM₁₀ supérieures à 32,2 µg/m³.

Pollution atmosphérique et hospitalisations pour pathologies cardio-vasculaires et respiratoires, et pour cancers dans le secteur de l'Étang de Berre, 2004-2007

Le pourtour de l'Étang de Berre est une zone densément peuplée, où de nombreuses industries ont été installées depuis plus de 50 ans. Les émissions polluantes générées par ces installations sont la cause de nombreuses interrogations de la part de la population, des élus et d'associations de médecins dont la principale attente est de connaître les effets de la pollution atmosphérique d'origine industrielle sur leur état de santé.

Une étude écologique géographique de la morbidité hospitalière pour les pathologies cardio-vasculaires, respiratoires et pour cancer a été menée sur la période 2004-2007.

La zone d'étude, située sur le pourtour de l'Étang de Berre, regroupe 29 communes pouvant être plus ou moins impactées par la pollution atmosphérique provenant des installations industrielles locales. Le dioxyde de soufre (SO_2) a été retenu comme polluant traceur de la pollution industrielle.

Cette étude a mis en évidence un excès de risque d'hospitalisations pour infarctus du myocarde chez les femmes pour les communes exposées à des niveaux moyens ou élevés de SO_2 et chez les hommes pour les communes les plus impactées. Aucun excès d'hospitalisation pour pathologies respiratoires ou pour cancers n'a été observé dans les communes exposées à la pollution industrielle à l'exception des leucémies aiguës chez les hommes pour les communes les plus impactées.

Mots clés : pollution industrielle, dioxyde de soufre, hospitalisations, PMSI, étude de corrélation écologique géographique

Air pollution and hospitalizations for cardiovascular diseases, respiratory diseases and cancers in the area of Étang de Berre, 2004-2007

The district of "Étang de Berre" is a highly populated and industrialized area in the south of France. Population, stakeholders and physicians require to know more about the effects of the industrial air pollution on their health.

A geographical ecological study was led over the period 2004-2007 on the hospitalizations for cardiovascular, respiratory and cancer diseases. The study area included 29 municipalities exposed or less exposed to the industrial air pollution. The sulfur dioxide (SO_2) was considered as the best indicator of the industrial pollution.

The results found an excess risk of hospitalizations for myocardial infarction for both women and men living in the highest exposed area and for women only in the middle exposed area. No excess risk of hospitalizations for respiratory diseases or for cancer diseases was observed in the municipalities exposed to the industrial pollution, except for the acute leukaemia for the men only.

Citation suggérée :

Pascal L, Stempfelet M, Gorla S, Lasalle JL, Pascal M, Declercq C. Pollution atmosphérique et hospitalisations pour pathologies cardio-vasculaires et respiratoires, et pour cancers dans le secteur de l'Étang de Berre, 2004-2007. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2011. 65 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>