



Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales
Provence Alpes Côte d'Azur
Cellule Interrégionale d'Epidémiologie Sud



Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Martigues



Ont participé à cette étude :

- **Institut de Veille Sanitaire (Département Santé Environnement)**

Laurence PASCAL

- **Cellule Interrégionale d'Epidémiologie Marseille**

Jean -Luc LASALLE
Lydie DOS SANTOS (stagiaire)

- **Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales Provence-Alpes-Côte-d'Azur**

André MELQUIOND

- **AIRFOBEP**

Roland THIELEKE

- **Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales des Bouches du Rhône**

Christelle BRUNO

Photographie de couverture : Cellule Interrégionale d'Epidémiologie Sud

SOMMAIRE

I - OBJECTIFS	5
II - DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE	6
II.1 - Situation géographique	6
II.2 - Conditions climatiques	6
II.3 - Contexte économique et sources de pollution	6
II.4 - Populations et déplacements	7
II.5 - Surveillance de la qualité de l'air	7
II.5.1 - Description du réseau	7
II.5.2 - Informations concernant les stations de la zone d'étude	7
II.6 - Détermination de la zone d'étude	9
II.6.1 - Critères de sélection	9
II.6.2 - Zone d'étude retenue	9
III - MATERIEL ET METHODE	10
III.1 - Identifications des dangers	10
III.2 - Estimation de l'exposition	10
III.3 - Choix des relations dose-réponse	10
III.4 - Caractérisation du risque	10
III.4.1 - Principes du calcul	10
III.4.2 - Recueil des données sanitaires	11
IV - RESULTATS	12
IV.1 - Estimation de l'exposition	12
IV.1.1 - Population exposée	12
IV.1.2 - Période d'étude	12
IV.1.3 - Données météorologiques	12
IV.1.3.1 - Sélection des stations	12
IV.1.3.2 - Construction des indicateurs de pollution	13
IV.2 - Indicateurs sanitaires	16
IV.2.1 - Mortalité	16
IV.2.2 - Morbidité	16
IV.3 - Caractérisation du risque	16
IV.3.1 - Impact total de la pollution atmosphérique	16
IV.3.2 - Impact sanitaire par niveaux de pollution	18
IV.3.3 - Calcul des gains sanitaires liés à une baisse de la pollution atmosphérique	19
IV.3.3.1 - Gains sanitaires pour la mortalité anticipée.	19
IV.3.3.2 - Gains sanitaires pour la morbidité cardio-vasculaire	19
IV.3.3.3 - Gains sanitaires pour la morbidité respiratoire	20
V - DISCUSSION	21
V.1 - Interprétation des résultats	21

V.2 - Limites et incertitudes de l'évaluation de l'impact sanitaire	21
V.2.1 - Estimation de l'exposition	21
V.2.2 - Indicateurs sanitaires	22
V.3 - Intérêts de l'évaluation de l'impact sanitaire	22
VI - CONCLUSION	23
VI.1 - Un impact collectif non négligeable	23
VI.2 - Un rôle limité des "pics" de pollution	23
VI.3 - Des résultats à enrichir et à communiquer	23
ANNEXE 1	24
ANNEXE 2	25
ANNEXE 3	26
ANNEXE 4	29
GLOSSAIRE	30
BIBLIOGRAPHIE	31

I - OBJECTIFS

Le plan régional pour la qualité de l'air (PRQA), prévu par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 et dont les modalités de mise en œuvre sont précisées par le décret du 6 mai 1998, fixe les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique. Il s'appuie notamment sur une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé publique. Cette évaluation doit également permettre de fixer des objectifs d'amélioration de la qualité de l'air fondés sur des critères de santé publique.

Pour répondre à cette obligation réglementaire en Provence Alpes Côte d'Azur, cette étude a été mise en place afin de calculer l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique sur l'une des grandes agglomérations de la région : Martigues (l'étude menée par l'Institut de Veille Sanitaire¹ sur l'agglomération de Marseille et 8 autres pôles locaux a également permis d'apporter des informations).

La méthodologie suit une démarche d'évaluation de l'impact sanitaire² :

- l'exposition à la pollution atmosphérique est documentée par les mesures de la qualité de l'air du réseau de surveillance AIRFOBEP
- les indicateurs sanitaires étudiés sont la mortalité toutes causes (hors mort violente) et les admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardio-vasculaires

Enfin, cette étude est également un outil d'aide à la décision par le calcul du gain sanitaire apporté par différents scénarii de baisse de pollution atmosphérique.

II - DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone du pourtour de l'Etang de Berre est très hétérogène en terme de pollution et de population avec des déplacements intercommunaux très importants. Il n'existe pas d'unité urbaine bien définie.

Dans un premier temps, la zone retenue concerne la commune de Martigues et les communes limitrophes de Sausset-les-Pins, Chateauneuf-les-Martigues, Port-de-Bouc et Saint Mitre les Remparts. Par la suite, les critères de sélection de la zone d'étude vont être appliqués à ces communes afin de les conserver ou non.

II.1 - Situation géographique

L'ouest des Bouches-du-Rhône est délimité au nord par la Durance, à l'ouest par le Rhône, au sud par la Méditerranée et à l'est par des reliefs ne dépassant pas les 500 mètres d'altitude (chaînes de la Trévasse, d'Eguilles et de Vitrolles). Cette région se caractérise par une topographie et une météorologie complexes.

Au sud-est de cette zone se trouve l'Etang de Berre bordé au nord, à l'est et au sud par des reliefs culminant à 200 mètres d'altitude environ, et à l'ouest par la plaine de la Crau et le parc naturel de Camargue. Plus de 400 000 personnes, réparties sur une trentaine de communes, habitent la région de l'Etang de Berre.

II.2 - Conditions climatiques

Le climat du département des Bouches du Rhône est de type méditerranéen caractérisé par un fort ensoleillement (2851 heures d'insolation en 1995), des températures agréables descendant rarement en dessous de zéro. La température minimum moyenne est de 9,9°C (record : -14,3°C) pour un maximum moyen de 19,5°C (record : 40,6°C).

Le régime des vents est caractérisé par deux vents forts dominants : Mistral (NW) et vent de sud-est, et par des vents modérés : brise de mer (SW) l'après-midi en été et brise de terre (E) toutes les nuits calmes.

Le niveau moyen des précipitations est de 584 mm. Celles-ci se répartissent sur une période relativement courte (85 jours de pluie en 1995).

Les plaines de l'ouest du département reçoivent deux fois moins de précipitations que les massifs montagneux présents à l'est des Bouches-du-Rhône. Ce secteur est plus affecté par les vents dominants de Nord et de Nord-Ouest, favorables à la dilution des polluants.

II.3 - Contexte économique et sources de pollution

La région du pourtour de l'Etang de Berre accueille le premier site industriel de la région PACA⁸. D'importants complexes pétrochimiques et de chimie lourde (Naphtachimie, Elf, Shell chimie, Arco chimie) sont implantés dans cette zone. Le tissu industriel est aussi constitué de raffineries (Shell, BP, Esso, Total), d'un complexe sidérurgique (Sollac, Ascometal), et d'une centrale thermique (EDF Ponteau).

L'activité industrielle de ces différentes entreprises génère des rejets de polluants dans l'atmosphère. Le CITEPA et la DRIRE sont chargés d'étudier ces rejets. L'autre source majeure de pollution provient des transports. Le tableau 1 présente les données³ concernant la répartition des flux de polluants atmosphériques pour l'année 1997 dans le département des Bouches du Rhône.

Tableau 1 : Emissions polluantes pour les Bouches-du-Rhône en tonnes par an (1997)

SOURCES	SO ₂	NO _x	COVNM	CO	NH ₃
TOTAL	140 372	59 703	98 336	566 947	2 072
Industrie et traitement des déchets	29,1 %	22,1 %	23,3 %	62,3 %	10,5 %
Extraction transformation d'énergie	64,8 %	19,6 %	28,7 %	0,5 %	0 %
Résiduel tertiaire	2,9 %	3,7 %	10,4 %	7,4 %	0 %
Transport routier	3,2 %	53,1 %	35,3 %	29,2 %	4,3 %
Autres Secteurs	0,1 %	1,5 %	2,3 %	0,6 %	85,2 %

Source : CITEPA³

II.4 - Populations et déplacements

La région délimitée précédemment compte 83 079 habitants⁵ et s'étend sur une superficie de 140 km².

Les flux migratoires journaliers domicile-travail autour de Martigues sont variables. Ils sont plus importants pour les agglomérations résidentielles, comme Sausset-les-Pins et Saint Mitre les Remparts où moins de 25 % de la population travaille sur son lieu de résidence.

Par contre dans la ville de Martigues, qui représente un bassin d'emploi, on dénombre quotidiennement 15 688 trajets domicile-travail, dont 63 % s'effectuent à l'intérieur de la commune. Il faut noter que ces déplacements se font essentiellement en véhicules individuels, le réseau de transports en commun étant peu développé.

En ce qui concerne les communes limitrophes, 60 à 75% des déplacements se font à l'intérieur de la région d'étude (annexe 1).

II.5 - Surveillance de la qualité de l'air

La surveillance de la qualité de l'air sur cette zone est assurée par une Association Agrée de Surveillance de la Qualité de l'air : AIRFOBEP, basée à Martigues.

II.5.1 - Description du réseau

AIRFOBEP, créé en 1972, assure la surveillance de la qualité de l'air autour de l'Etang de Berre et de l'ouest des Bouches-du-Rhône. En 1998, le réseau était constitué de 26 stations fixes et de 2 stations d'étude.

II.5.2 - Informations concernant les stations de la zone d'étude

Les stations de mesure présentes sur la zone d'étude présentent les particularités décrites dans les tableaux 2 et 3. Dans chacune de ces stations, des mesures régulières des polluants sont effectuées en continu et de manière automatique par les capteurs en place. Elles sont complétées par des campagnes temporaires réalisées à l'aide d'un laboratoire mobile qui permettent d'évaluer la qualité de l'air sur l'ensemble de la région PACA.

Tableau 2 : Description des stations de la zone d'étude

Station	Type de station	Densité de population (hab/km ²)	Hauteur de prélèvement (m)	Polluants et date de mise en service				
				SO ₂	NO ₂	O ₃	PM 10	HT
Notre Dame des Marins	Urbaine	4 217	5	Juin 89	Mai. 95	Sept. 93	-	Fév. 96
Martigues Ile	Urbaine	4 936	5	Fév. 98	Fév. 98	-	Mars 98	-
Martigues Pati	Urbaine	1 191	6	Mai 91	-	-	-	-
Port de Bouc	Urbaine	6 060	3	Déc. 98	Janv.00	-	-	Janv. 00
Sausset les Pins	Industrielle		15	Juil. 89	Oct. 89	Fév. 89	-	-
Châteauneuf-les-Martigues	Industrielle	2 039	4	Juil. 89	-	-	-	-

Source : AIRFOBEP

Tableau 3 : Méthodes de mesures des différents polluants

Polluants	Méthode de mesure
SO ₂	Fluorescence UV
NO _x	Chimiluminescence
O ₃	Absorption UV
HT	Ionisation de flamme
PM10	Jauge Béta

Source : AIRFOBEP

II.6 - Détermination de la zone d'étude

II.6.1 - Critères de sélection

Pour cette étape, il est nécessaire d'identifier une zone urbaine⁴ :

- sans rupture d'urbanisation
- où la majorité de la population séjourne en permanence
- où la qualité de l'air (mesurée par des stations de fond) et la répartition des émissions peuvent être considérées, a priori, comme homogènes

II.6.2 - Zone d'étude retenue

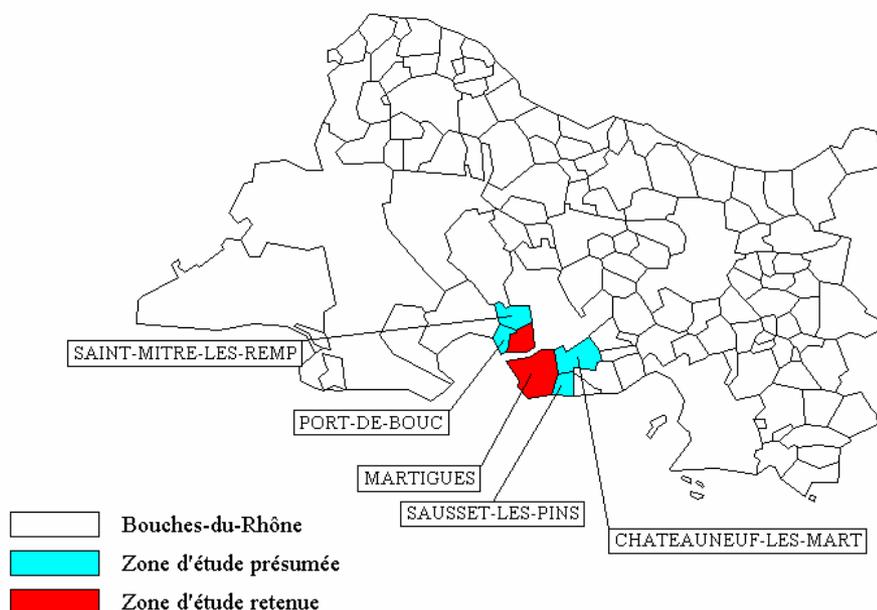
En tenant compte des critères de sélection, seule la commune de Martigues a été retenue. Elle compte 42 678 habitants répartis sur environ 65 km². 63 % des déplacements domicile-travail se font à l'intérieur de la commune.

Il existe une hétérogénéité au niveau topographique entre Martigues et les communes de Saint Mitre les Remparts et Châteauneuf-les-Martigues.

Pour la commune de Sausset-les-Pins, 63% de la population travaille à l'extérieur de la zone de Martigues. La majorité des habitants de Sausset-les-Pins n'est donc pas exposée toute la journée à la pollution atmosphérique du secteur considéré.

Quant à la commune de Port-de-Bouc, son exclusion résulte d'une hétérogénéité au niveau météorologique avec Martigues, la corrélation entre les stations de ces deux communes pour le SO₂ étant quasiment nulle (annexe 2).

Localisation de la zone d'étude de MARTIGUES



III - MATERIEL ET METHODE

Cette étude repose sur les principes de l'évaluation de l'impact sanitaire². Elle est basée sur le guide méthodologique développé par l'institut de Veille Sanitaire⁴.

III.1 - Identifications des dangers

Cette étape a pour objectif d'établir les dangers liés à un polluant à partir de données toxicologiques et épidémiologiques. Dans le cas de la pollution atmosphérique, on retiendra les indicateurs de pollution visés par le décret⁶ relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et l'environnement.

III.2 - Estimation de l'exposition

C'est une étape fondamentale dont l'objectif est de quantifier l'exposition à laquelle est soumise la population à partir du traitement et de l'analyse des données de pollution collectées en routine par le réseau local de mesure de la qualité de l'air. Il est nécessaire de construire pour chaque polluant un indicateur d'exposition reflétant au mieux les concentrations auxquelles la population est soumise.

Cette estimation repose sur l'hypothèse selon laquelle la moyenne journalière des capteurs sélectionnés constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles journalières.

Cette construction se déroule en quatre étapes :

- recueil des données pertinentes auprès du réseau de surveillance de la qualité de l'air,
- détermination de la période d'étude,
- sélection des stations,
- construction des indicateurs d'exposition à partir des stations sélectionnées
 - moyenne arithmétique des moyennes journalières des stations ou des moyennes 8 heures pour l'ozone
 - l'indicateur aura une valeur manquante un jour donné si l'un des capteurs a une valeur manquante ce même jour.

III.3 - Choix des relations dose-réponse

Il s'agit de caractériser les liens entre la dose (ou l'exposition) et les effets sanitaires attendus. Pour cela, on aura recours aux relations retenues par l'Institut de Veille Sanitaire⁴.

III.4 - Caractérisation du risque

Cette étape permet de quantifier l'impact sanitaire en calculant un nombre de cas attribuables à un polluant donné pour un indicateur sanitaire donné, sur la période d'étude choisie.

III.4.1 - Principes du calcul

On calcule le nombre d'événements sanitaires attribuables à un niveau de pollution atmosphérique donné à partir du risque relatif associé au niveau de pollution étudié et du nombre moyen d'événements sanitaires au cours de la période considérée, selon la formule suivante :

$$PA = f (RR - 1) / (1 + f (RR - 1)) \quad \text{où}$$

- PA = proportion d'événements sanitaires attribuables au niveau de pollution considéré,
- RR = risque relatif associé au niveau de pollution et fourni par la courbe dose-réponse,
- f = fraction de la population exposée.

Dans le cas de la pollution atmosphérique :

- f = 1, car toute la population est considérée comme exposée au niveau de pollution retenu.
- RR= RR_Δ, car le risque relatif n'est pas calculé en référence à un niveau de pollution nul dont le risque relatif serait égal à 1, mais en référence à un niveau de base non nul.

Le nombre d'événements attribuables (NA) est donc calculé, non pas pour un niveau de pollution donné, mais pour un différentiel de pollution donné selon la formule simplifiée suivante :

$$NA = ((RR_{\Delta} - 1) / RR_{\Delta}) \times N \quad \text{où}$$

- N = nombre moyen d'évènements sanitaires sur la période considérée

En pratique, le nombre d'événements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique est calculé pour chacun des indicateurs d'exposition et pour chaque journée de la période d'étude considérée. L'impact sanitaire saisonnier est ensuite obtenu en sommant les événements sanitaires attribuables journaliers.

III.4.2 - Recueil des données sanitaires

Les données de mortalité ont été obtenues auprès du service SC8 de l'INSERM. L'étude concerne la mortalité toutes causes (hors mort violente).

Les informations concernant la morbidité hospitalière sont extraites du PMSI et ont été recueillies à partir de la base RSA de la DRASS Paca. Elles concernent les entrées pour motifs cardio-vasculaires et motifs respiratoires. Le motif d'admission n'étant pas disponible dans ce système d'information, il est approché par le diagnostic principal.

IV - RESULTATS

IV.1 - Estimation de l'exposition

IV.1.1 - Population exposée

La zone d'étude comprend 42 678 habitants au recensement INSEE de 1990⁵. 63 % des déplacements domicile-travail⁵ se font à l'intérieur de la zone retenue. On peut donc considérer que la population est exposée toute la journée à la pollution atmosphérique enregistrée sur cette zone.

IV.1.2 - Période d'étude

Les données sanitaires sont disponibles jusqu'en 1997 auprès de l'INSERM, pour la mortalité et sur l'année 1998 auprès de la DRASS pour les entrées hospitalières. Deux périodes d'étude sont donc définies, les années 1996 et 1997 pour l'analyse de la mortalité et l'année 1998 pour l'analyse de la morbidité.

IV.1.3 - Données météorologiques

IV.1.3.1 - Sélection des stations

L'objectif étant de construire, à l'échelle d'une unité urbaine, des indicateurs "d'exposition ambiante", seules les stations de fond situées en zone urbaine ont été retenues. Pour choisir ces stations, les critères suivants doivent être pris en compte :

- les niveaux des indicateurs de pollution des stations étudiées doivent être proches et refléter les mêmes phénomènes de pollution ;
- les stations doivent être bien corrélées entre elles ;
- une station donnée doit pouvoir être qualifiée, du point de vue de son environnement, comme représentative de l'exposition de la population.

Seulement deux des trois stations de mesure de Martigues répondent à ces critères, Notre Dame des Marins et Pati. La station Martigues-Ile n'ayant pas fonctionné pendant les années 1996-1997 et pendant les deux premiers mois de l'année 1998, elle ne sera pas utilisée pour construire les indicateurs d'exposition.

Les polluants mesurés sont le dioxyde de soufre pour les deux stations, le dioxyde d'azote et l'ozone pour la seule station Notre Dame des Marins. Les particules PM10 sont mesurées depuis le mois de mars 1998 par la station Martigues Ile. L'étude concernant l'impact sanitaire des particules ne sera donc pas réalisée au cours de ce travail.

Les niveaux de polluants sont exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les niveaux de SO_2 et de NO_2 considérés correspondent à des moyennes journalières. Les niveaux d'ozone correspondent à la valeur maximale des valeurs des moyennes glissantes 8h de la journée. Ces données sont validées par le réseau de mesure et respectent la règle des 75 % concernant les valeurs manquantes.

Les caractéristiques des niveaux de pollution mesurés par chaque station se trouvent en annexe 3.

Pour la période de 1996 à 1999 :

- le niveau moyen en ozone pour la période estivale est de $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- la moyenne journalière en NO_2 s'élève à $18,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- les niveaux moyens en SO_2 s'élèvent respectivement à $15,3$ et $21,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les stations Notre Dame des Marins et Pati.

Les coefficients de corrélation pour le SO_2 sont relativement moyens ; la station Pati étant parfois influencée par les panaches des industries environnantes (tableau 4).

Tableau 4 : Coefficients de corrélation du SO₂ pour les années 1996-1997 et 1998 :

SO ₂ (1996-1997)	Martigues Pati	Notre Dame des Marins
Martigues Pati	1	0,38
Notre Dame des Marins	0,38	1

SO ₂ (1998-1999)	Martigues Pati	Notre Dame des Marins
Martigues Pati	1	0,46
Notre Dame des Marins	0,46	1

IV.1.3.2 - Construction des indicateurs de pollution

Les indicateurs d'exposition ont été construits en calculant la moyenne arithmétique des données journalières des capteurs sélectionnés pour les deux périodes d'étude. Le taux de valeurs manquantes étant faible, les valeurs mesurées et validées par AIRFOBEP ont été utilisées sans transformation préalable. Les statistiques descriptives des indicateurs d'exposition sont présentés dans les tableaux 5 et 6. Les distributions des indicateurs d'exposition par classe pour chaque polluant, sont représentées par les figures 1 à 6.

Tableau 5 : Distribution des indices d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (1996-1997)

Indicateurs d'exposition	SO ₂			NO ₂			O ₃		
	Total	été	hiver	Total	été	hiver	Total	été	hiver
Saison									
Moyenne	18,8	17,9	19,7	19,2	14,6	23,7	80,4	101,7	59,1
Ecart- type	16,8	14,7	18,7	11,7	7,4	13,3	30,5	23,2	20,5
P5	3,5	3,5	4	6	5	7	31,8	67,4	24,8
P25	7	7	7	1	9	14	57,7	86,4	45,1
P 50	14	14	13,5	16	13	21	80,5	98,8	58,3
P75	24	24,5	24,5	25	19	31	99,7	115	73,6
P95	50,5	48,5	59,2	41,2	28,6	50	135,4	148	94,1
Minimum	1	1	1,5	2	2	3	3,5	46,5	3,5
Maximum	132	104	132	72	40	72	165,2	165,2	117,2
% VM	0,1	0	0	0,2	3	0,8	0,3	0	0,5

Les périodes d'été et d'hiver correspondent respectivement aux périodes du 1^{er} avril au 30 septembre et du 1^{er} octobre au 31 mars.

Figure 1 : Distribution par classe de l'indicateur d'exposition SO2 (Martigues 1996-1997)

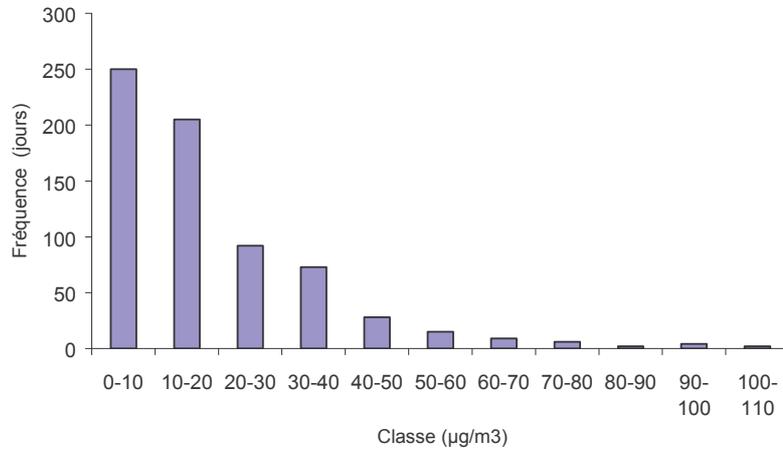


Figure 2 : Distribution par classes de l'indicateur d'exposition NO2 (Martigues 1996-1997)

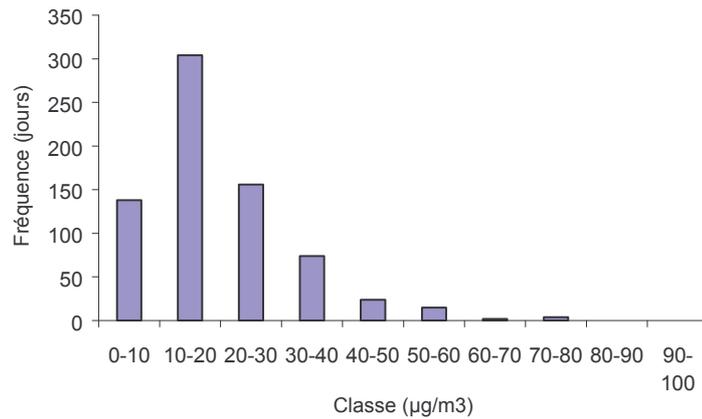


Figure 3 : Distribution par classes de l'indicateur d'exposition O3 (Martigues étés 1996-1997)

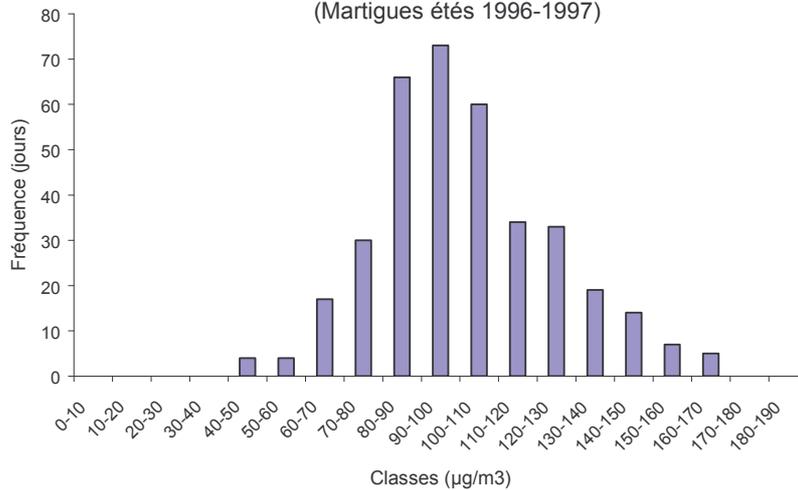


Tableau 6 : Distribution des indices d'exposition pour l'année 1998

Indicateurs d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂			NO ₂			O ₃		
	Total	Eté	Hiver	Total	Eté	Hiver	Total	Eté	Hiver
Saison									
Moyenne	23,2	27,6	18,9	18,9	13,2	24,7	83,9	106,5	61,1
Ecart- type	18,8	20,5	15,9	12,4	6,7	14	32,3	23,4	22,5
P5	3	3,9	2,5	6	5	8	30,9	74,7	22
P25	8	11,5	6,5	10	8	13,7	60,8	90,6	46,8
P 50	18	22,5	13	16	12	22	82,4	103,6	61,2
P75	32,7	37,2	29	24	17	32	104,7	120,6	72
P95	61,4	70,7	49	47	26	52	138,5	152,4	102,9
Minimum	0,5	0,5	1,5	4	4	6	9,7	53,2	9,7
Maximum	104,5	85	104,5	71	39	71	187,2	187,2	145,7
% Valeurs Manquantes	3,3	4,9	1,6	1,1	0	2,2	0	0	0

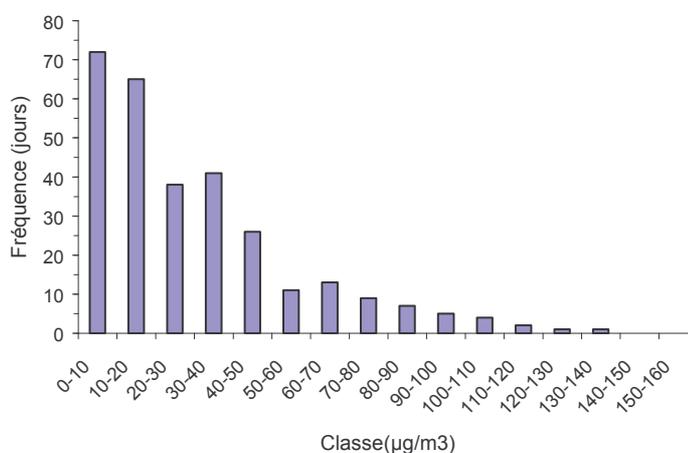
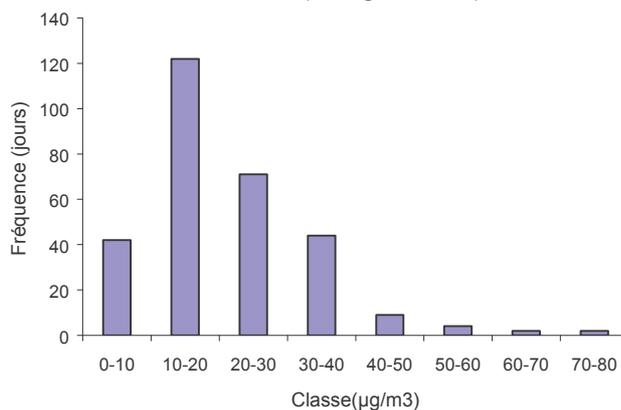
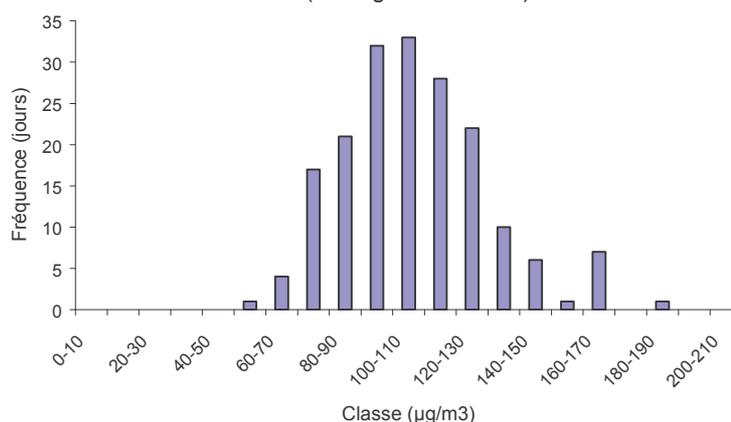
Figure 4 : Distribution par classes de l'indicateur d'exposition SO₂ (Martigues - 1998)Figure 5 : Distribution par classes de l'indicateur d'exposition NO₂ (Martigues 1998)

Figure 6 : Distribution par classes de l'indicateur d'exposition O3 (Martigues été 1998)



IV.2 - Indicateurs sanitaires

IV.2.1 - Mortalité

L'étude concernant la mortalité anticipée a été réalisée avec les données de mortalité des années 1996 et 1997, les données postérieures n'étant pas encore disponibles auprès de l'INSERM. Le nombre de décès pour cette période s'élève à 540 dont 279 pendant la période estivale.

IV.2.2 - Morbidité

Les informations relatives à la morbidité hospitalière concernent l'année 1998 et ont été recueillies uniquement pour le centre hospitalier de Martigues. Bien que l'attractivité de certaines cliniques, comme celle de Martigues, ne soit pas négligeable, l'implantation du PMSI dans les cliniques privées étant récente, l'utilisation de ces données n'a pas été possible. 71% des séjours en hospitalisation complète ont lieu sur la commune, dont 48% au centre hospitalier public et 23% à la clinique privée (annexe 4).

Le nombre d'hospitalisations de plus de 24 heures enregistrées au cours de l'année 1998 pour les habitants de Martigues est reporté dans le tableau 7.

Tableau 7 : Nombre d'admissions hospitalières - 1998

	Motifs respiratoires		Motifs cardio-vasculaires
	15 - 64 ans	> 65 ans	
Année 1998	131	125	399
Été 1998	56	47	195
Hiver 1998	75	78	204

Source : Base RSA - DRASS Paca

IV.3 - Caractérisation du risque

IV.3.1 - Impact total de la pollution atmosphérique

L'impact total de la pollution atmosphérique est calculé pour chaque indicateur de pollution atmosphérique par rapport à une situation théorique sans pollution, c'est-à-dire lorsqu'on ramène les niveaux de pollution au niveau du percentile 5.

Pour la mortalité et les admissions hospitalières cardio-vasculaires, le calcul est effectué sur l'ensemble de la population tous âges confondus. Par contre, pour les admissions respiratoires, le calcul est effectué pour deux tranches d'âge (15-64 ans et 65 ans et plus).

Tous les résultats sont présentés par leur estimation centrale et l'intervalle de confiance à 95 % entre parenthèses.

- Le nombre total de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique pour les années 1996 et 1997 s'élève respectivement à :

pour le NO ₂ :	5,4 [2,9 - 7,8],
pour le SO ₂ :	5,7 [3,3 - 8,1],
pour l'ozone (sur la période estivale) :	5,1 [2,5 - 7,8]

- Les résultats estimés de l'impact total sur la morbidité hospitalière sont présentés dans les tableaux 8 et 9. Les estimations hautes et basses correspondent aux bornes de l'intervalle de confiance à 95%.

Tableau 8 : Nombre d'admissions hospitalières pour motifs respiratoires dû à la pollution atmosphérique (1998)

Polluant	Saison	Age (ans)	Nombre de cas attribuables		
			Estimation Centrale	Estimation Basse	Estimation haute
NO ₂	Eté	15-64	0	-0,4	0,4
NO ₂	Eté	> 65	0,2	-0,1	0,5
NO ₂	Hiver	15-64	0,3	-0,5	1
NO ₂	Hiver	> 65	0	-0,5	0,8
SO ₂	Eté	15-64	0,3	-0,5	1
SO ₂	Eté	> 65	1,3	0,2	2,3
SO ₂	Hiver	15-64	0,2	-0,7	1,7
SO ₂	Hiver	> 65	0,5	-0,3	1
O ₃	Eté	15-64	0,7	-0,4	1,8
O ₃	Eté	> 65	1,2	0,6	2,1

Tableau 9 : Nombre d'admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires dû à la pollution atmosphérique (1998)

Polluant	Saison	Nombre de cas attribuables		
		Estimation centrale	Estimation Basse	Estimation haute
NO ₂	Hiver	3,3	1,9	4,8
NO ₂	Eté	1,9	1,1	2,7
SO ₂	Hiver	4	1,7	6,4

Les impacts estimés par indicateur de pollution ne sont pas additifs dans la mesure où la population est exposée à un ensemble de polluants pour lesquels aucun n'est totalement spécifique. De plus, les polluants peuvent interagir et l'effet d'un polluant (ou de la pollution dont il est le témoin) peut varier en fonction du niveau d'autres polluants. Au final, l'impact de la pollution atmosphérique retenu est au moins égal au plus grand nombre de cas attribuables associé à l'un des indicateurs de pollution. Seuls les résultats significatifs ont été retenus.

Ainsi, sur Martigues, le nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique sur la période 1996-1997 s'élève à 5,7 [3,3 ; 8,1] soit un nombre de décès anticipés annuels attribuables à la pollution de 2,85.

Pour l'année 1998, le nombre d'admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires attribuables à la pollution atmosphérique est égal à 4 [1,7 ; 6,4].

L'impact total sur les admissions hospitalières pour motifs respiratoires s'élève à 1,2 [0,6 ; 2,1].

IV.3.2 - Impact sanitaire par niveaux de pollution

Si les jours de forte pollution sont ceux pour lesquels l'impact sanitaire est le plus élevé, leur faible fréquence limite leur impact sur une longue durée comme une saison, comme l'illustrent les figures 7 à 9.

Figure 7 : Distribution par classes des niveaux d'exposition journaliers et des impacts associés (mortalité)

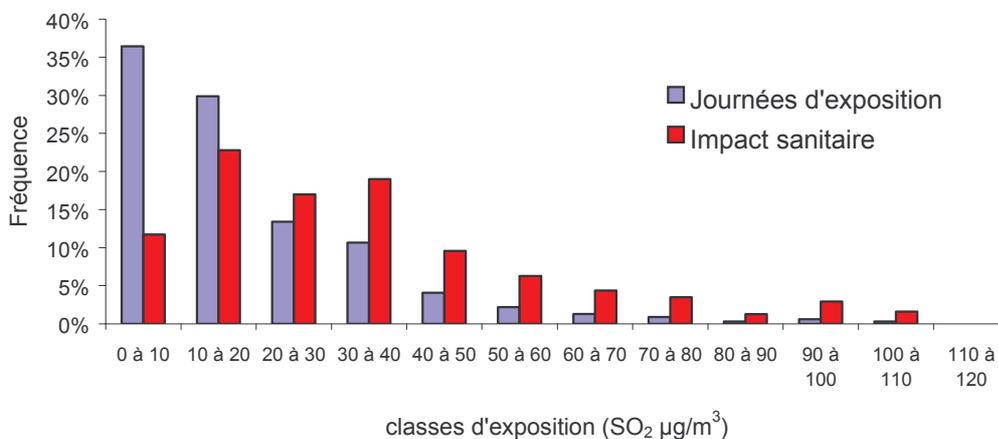


Figure 8 : Distribution par classes des niveaux d'exposition journaliers et des impacts associés (morbidité cardio-vasculaire)

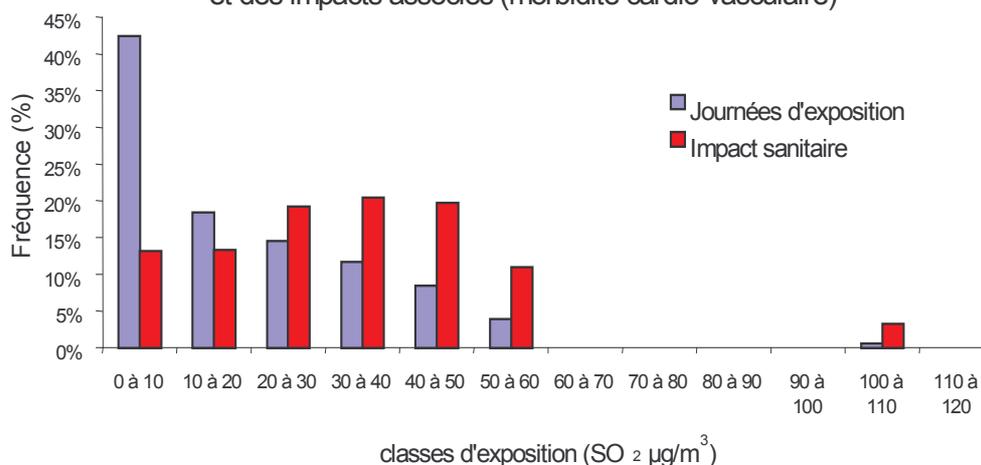
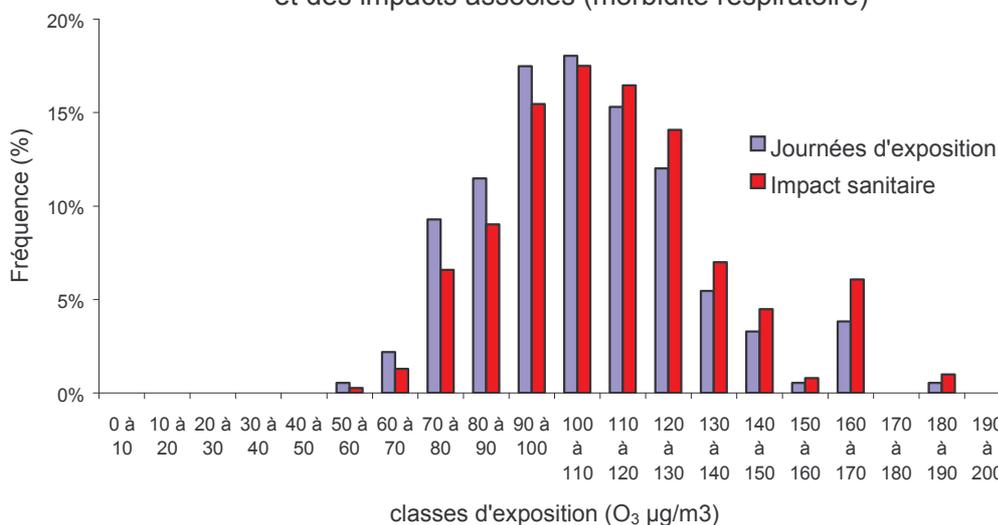


Figure 9 : Distribution par classes des niveaux d'exposition journaliers et des impacts associés (morbidité respiratoire)



IV.3.3 - Calcul des gains sanitaires liés à une baisse de la pollution atmosphérique

Les gains sanitaires ont été calculés pour trois scénarii différents pour les situations les plus défavorables retenues ci-dessus :

- "**Scénario 1**" : Le gain sanitaire est calculé pour une diminution des valeurs de pointe ramenées à un niveau donné.

Les niveaux choisis sont les objectifs de qualité fixés par la réglementation⁶ (pour SO₂ : 100 µg/m³ pour les valeurs moyennes quotidiennes, pour O₃ : 110 µg/m³ pour les moyennes 8 heures).

- "**Scénario 2**" : Calcul du gain sanitaire associé à une baisse globale de 25% des niveaux de l'indicateur de pollution sur l'ensemble de la période d'étude.

- "**Scénario 3**" : Estimation du nombre de cas qui auraient pu être évités si, au cours de la période d'étude, les 25% de jours les plus pollués avaient été ramenés au niveau correspondant au percentile 25.

IV.3.3.1 - Gains sanitaires pour la mortalité anticipée.

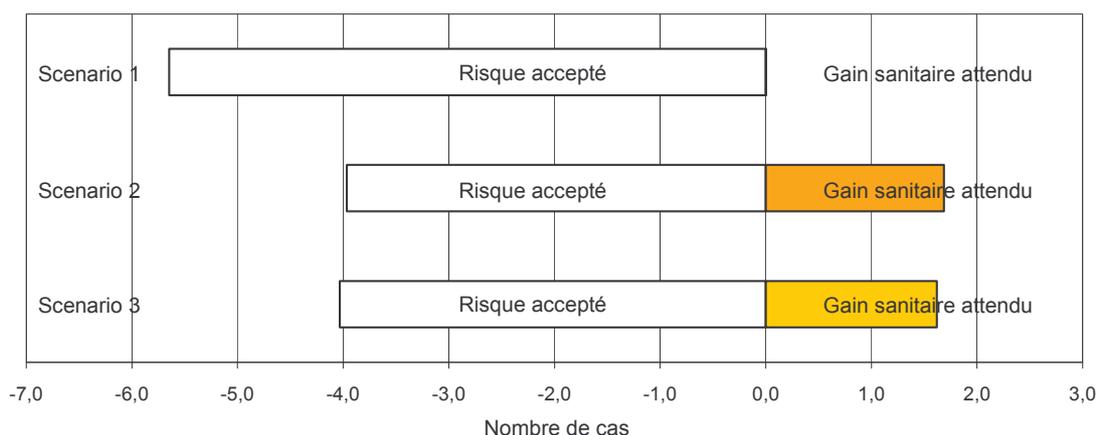
Le fait de ramener tous les niveaux de pollution les plus élevés au niveau de l'objectif de qualité ne permet aucun gain sanitaire, cet objectif n'étant jamais dépassé. Les gains sanitaires atteints grâce aux deux autres scénarii sont très proches et représentent un gain sanitaire de l'ordre de 30%.

Tableau 10 : Nombre de décès évités suivant les scénarii de dépollution Martigues (1996-1997)

	Nombre de décès évités		
	Estimation centrale	Estimation basse	Estimation Haute
Scénario 1	0	0	0
Scénario 2	1,7	1	2,4
Scénario 3	1,6	0,95	2,3

Le gain sanitaire et, par conséquent le risque implicitement "accepté", sont représentés sous forme graphique pour chaque scénario (figure 10).

Figure 10 : Gain sanitaire concernant la mortalité anticipée



IV.3.3.2 - Gains sanitaires pour la morbidité cardio-vasculaire

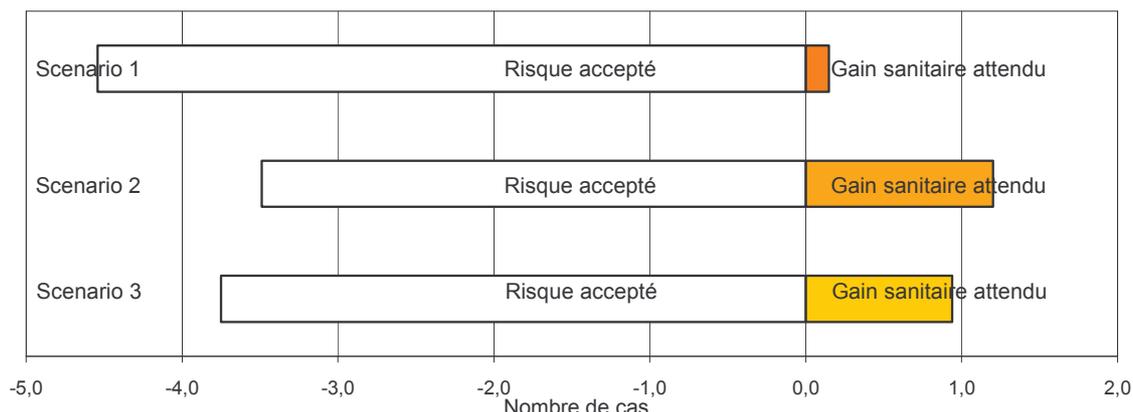
Le premier scénario qui vise à agir uniquement sur les niveaux de pollution les plus élevés ne permet aucun gain sanitaire. Le second permet d'éviter l'admission hospitalière de 1,1 personnes, soit un gain sanitaire de 27,5%. Le troisième permet un gain sanitaire un peu plus élevé (1,4 entrées) soit 35% du total.

Tableau 11 : Nombre d'admissions hospitalières annuelles évitées pour motifs cardio-vasculaires suivant les scénarii de dépollution - Martigues 1998

	Nombre d'admissions hospitalières évitées (motifs cardio-vasculaires)		
	Estimation centrale	Estimation basse	Estimation Haute
Scénario 1	0	0	0
Scénario 2	1,1	0,5	1,8
Scénario 3	1,4	0,6	2,2

L'efficacité comparée des différents scénarii est illustrée sous forme graphique (figure 11)

Figure 11 : Efficacité des scénarii (morbidity cardio-vasculaire)



IV.3.3.3 - Gains sanitaires pour la morbidité respiratoire

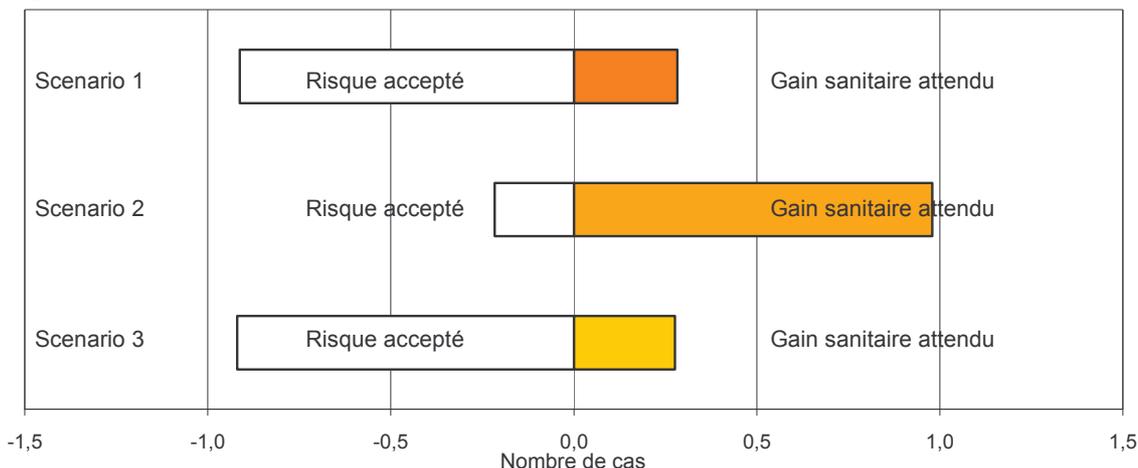
Le premier scénario qui vise à agir uniquement sur les niveaux de pollution les plus élevés ne permet qu'un gain sanitaire limité, 0,3 entrée hospitalière soit un gain global de 25%. Le second permet d'éviter l'admission hospitalière de 1 personne, soit un gain sanitaire de 83%. Le troisième permet un gain sanitaire identique au premier scénario.

Tableau 12 : Nombre d'admissions hospitalières annuelles évitées pour motifs respiratoires suivant les scénarii de dépollution - Martigues 1998

	Nombre d'admissions hospitalières évitées (motifs respiratoires)		
	Estimation centrale	Estimation basse	Estimation Haute
Scénario 1	0,3	0,1	0,5
Scénario 2	1	0,5	1,7
Scénario 3	0,3	0,1	0,5

L'efficacité comparée des différents scénarii est illustrée sous forme graphique (figure 12)

Figure 12 : Efficacité des scénarii (morbidity respiratoire)



V - DISCUSSION

Les effets néfastes de la pollution atmosphérique, mêmes à des niveaux faibles de pollution, ont fait l'objet de nombreuses études au cours de ces dix dernières années. L'évaluation de l'impact sanitaire ne vise pas à démontrer ces effets mais à les quantifier au niveau local.

V.1 - Interprétation des résultats

L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique peut sembler faible mais toutes les étapes de l'étude d'impact sanitaire tendent à sous-estimer les résultats :

- seuls les effets à court terme sur la santé sont étudiés,
- en ce qui concerne la morbidité, seuls sont pris en compte les effets ayant nécessité une hospitalisation, alors que l'on peut penser que cela ne représente qu'une fraction faible de la morbidité cardio-vasculaire ou respiratoire,
- seule la pollution atmosphérique extérieure de fond est prise en compte pour estimer l'exposition de la population. En particulier, la pollution de l'air à l'intérieur des locaux n'est pas étudiée,
- ne sont étudiés que certains indicateurs de la pollution atmosphérique,
- l'impact sanitaire global a été considéré comme au moins égal au maximum des impacts calculés pour chaque indicateur.

Concernant le nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique, il ne doit pas être interprété comme un excès absolu de mortalité. Le nombre de décès qui est calculé dans cette évaluation de l'impact sanitaire doit être compris comme étant une estimation du nombre de personnes qui, au cours de cette période, ont vu leur espérance de vie diminuée.

V.2 - Limites et incertitudes de l'évaluation de l'impact sanitaire

V.2.1 - Estimation de l'exposition

L'estimation de l'exposition est faite au niveau de la population et non au niveau individuel. On considère donc que l'ensemble de la population est soumise à un même niveau de pollution alors que chaque individu est exposé à des niveaux de pollution variables. Les résultats des études sur l'utilisation des budgets espace-temps qui se mettent en place actuellement pourront par la suite être utilisés pour avoir une meilleure définition de l'exposition à la pollution atmosphérique.

Du fait des déplacements personnels ou professionnels, une partie de la population peut s'absenter de la zone d'étude. Suivant les niveaux de pollution des zones d'attraction, cela conduit à sous ou sur estimer l'impact sanitaire. En outre, la zone d'étude est également une zone attractive pour une population non-résidentee. Cette dernière n'étant pas prise en compte dans les données sanitaires (mortalité ou entrées hospitalières) alors qu'elle est exposée à la pollution atmosphérique, l'impact sanitaire est dans ce cas sous-estimé.

Le niveau moyen de pollution sur la zone d'étude est calculé à partir des valeurs enregistrées par les stations de mesure. Il est donc dépendant de l'implantation de ces capteurs. Industriels. Une collaboration avec les métrologistes des réseaux de surveillance doit permettre d'optimiser l'estimation de l'exposition.

Par ailleurs, la méthode de modélisation des indicateurs de pollution ne permet pas de prendre en compte les effets de panaches auxquels est pourtant exposée, à certaines périodes, une partie de la population de Martigues.

Enfin, la pollution atmosphérique est un mélange chimique complexe dont la composition n'est estimée qu'à partir d'indicateurs.

V.2.2 - Indicateurs sanitaires

L'erreur sur le dénombrement des admissions hospitalières et sur la qualité des indicateurs est limitée par le regroupement en grandes catégories de diagnostic.

En recueillant les données hospitalières sur le seul centre hospitalier de la zone d'étude, on aboutit à une sous-estimation du nombre d'admissions.

En particulier, l'hospitalisation privée représentant une part importante des admissions hospitalières dans la région PACA, il sera nécessaire de recueillir les données d'admission hospitalière dans les cliniques.

En ce qui concerne l'impact total de la pollution atmosphérique sur les admissions hospitalières pour motifs respiratoires, l'application du guide méthodologique⁴ à une agglomération de la taille de Martigues (50 000 habitants) atteint sa limite, les effectifs devenant très réduits.

V.3 - Intérêts de l'évaluation de l'impact sanitaire

L'évaluation de l'impact sanitaire est une méthode peu coûteuse, rapide et facilement reproductible, permettant des analyses itératives.

Elle constitue une démarche transparente et une approche pédagogique. Les résultats présentés sous forme de nombre de cas attribuables sont facilement compréhensibles et permettent la comparaison de différentes stratégies d'amélioration de la qualité de l'air en terme de réduction de risque.

VI - CONCLUSION

VI.1 - Un impact collectif non négligeable

Sur la zone d'étude qui regroupe environ 50 000 habitants, la pollution atmosphérique provoque chaque année 2,85 décès anticipés ainsi que 5,2 admissions hospitalières dont 4 pour des effets cardio-vasculaires et 1,2 pour des effets respiratoires (ces hospitalisations ne concernant que le secteur public).

Ces chiffres, même s'ils ne constituent que des ordres de grandeur, montrent que la pollution atmosphérique a un impact sanitaire sur une population, même à des niveaux de pollution modérés, souvent situés en dessous des normes réglementaires.

VI.2 - Un rôle limité des "pics" de pollution

Si les jours les plus pollués ont un impact sanitaire journalier plus important, leur faible fréquence en limite l'effet sur la totalité d'une longue période.

Ainsi, une politique qui se limiterait à éviter les épisodes de pollution ou à ne prendre des mesures qu'à cette occasion n'aurait qu'un impact négligeable en terme de santé publique.

En milieu urbain, c'est donc la pollution atmosphérique dans son ensemble qui doit être considérée comme facteur de risque pour la santé des populations.

Il est nécessaire de concevoir la prévention des risques liés à la pollution atmosphérique urbaine, non pas uniquement en terme de "pics" de pollution mais également en termes d'exposition quotidienne à la pollution de fond.

Cette étude a ainsi permis d'estimer qu'une baisse globale des niveaux de pollution de 25% permettrait de diminuer le nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique de :

- 30% pour les décès anticipés,
- 27,5% pour les entrées hospitalières pour motifs cardiovasculaires,
- 83% pour les entrées hospitalières pour motifs respiratoires.

VI.3 - Des résultats à enrichir et à communiquer

Les résultats de cette étude pourront être enrichis et complétés par :

- une meilleure estimation de l'exposition de la population en prenant en compte des indicateurs encore indisponibles comme les PM10,
- la prise en compte des entrées hospitalières dans le secteur privé qui représentent une part prépondérante sur la zone d'étude,
- le développement d'indicateurs sanitaires en population générale qui ne se limiteraient pas aux effets nécessitant une hospitalisation.

La communication de ce type de résultats auprès des décideurs, des médias et du public permettrait une meilleure sensibilisation aux dangers de la pollution chronique vécue au quotidien par l'ensemble de la population, de relativiser les effets des "pics" de pollution et, à partir de là, de construire une politique de lutte contre les effets sanitaires de la pollution atmosphérique efficace.

ANNEXE 1**Navettes domicile- travail ⁵**

Commune de provenance	LIEU DE RESIDENCE – LIEU DE TRAVAIL		
	Total déplacements	Déplacements dans la même commune	Déplacements dans la zone d'étude
Châteauneuf-les-Martigues	3 966	1 837 (46%)	2 529 (64%)
Martigues	15 688	9 928 (63%)	11 570 (74%)
Port-de-Bouc	5 480	2 436 (44%)	3 616 (66%)
Saint Mitre les Remparts	1 816	392 (22%)	1 128 (62%)
Sausset-les-Pins	2 074	490 (24%)	773 (37%)
TOTAL	29 024	-	19 616 (68%)

ANNEXE 2

Coefficients de corrélation entre les stations de mesure de Martigues et Port de Bouc.

SO ₂	Notre Dame des Marins	Martigues			Port de Bouc
		Pati	Ile		
Notre Dame des Marins	1	0,38	0,46	-0,01	
Pati	0,38	1	0,66	0,03	
Martigues Ile	0,46	0,66	1	0,02	
Port de Bouc	-0,01	0,03	0,02	1	

ANNEXE 3

Distribution des polluants par station
Martigues 1996 -1999

- Distribution de l'ozone (moyenne 8 h) par station

	Type de la station Lieu du capteur	Station urbaine Notre Dame des Marins
Période totale	Moyenne	81,81
	Ecart- type	30,54
	P5	32,61
	P25	59,72
	P50	81,63
	P75	101,91
	P95	135,13
	Minimum	3,5
	Maximum	187,25
	% Valeurs Manquantes	0,07
Période estivale	Moyenne	103,03
	Ecart- type	22,85
	P5	69,03
	P25	87,38
	P50	100,56
	P75	115,53
	P95	144,41
	Minimum	46,5
	Maximum	187,25
	% Valeurs Manquantes	0
Période hivernale	Moyenne	60,48
	Ecart- type	20,92
	P5	26,71
	P25	46,81
	P50	60,25
	P75	73,63
	P95	95,66
	Minimum	3,5
	Maximum	145,75
	% Valeurs Manquantes	0,14

- Distribution des valeurs moyennes horaires de NO₂ par station (µg/m³)

	Type de la station	Station urbaine
	Lieu du capteur	Notre Dame des Marins
Période totale	Moyenne	18,35
	Ecart- type	11,67
	P5	5
	P25	10
	P50	15
	P75	24
	P95	42
	Minimum	1
	Maximum	72
	% Valeurs Manquantes	1,23
Période estivale	Moyenne	13,55
	Ecart type	7,06
	P5	5
	P25	8
	P50	12
	P75	18
	P95	27
	Minimum	2
	Maximum	40
	% Valeurs Manquantes	1,5
Période hivernale	Moyenne	23,14
	Ecart type	13,29
	P5	7
	P25	13
	P50	20
	P75	31
	P95	49
	Minimum	1
	Maximum	72
	% Valeurs Manquantes	0,96

- Distribution des valeurs moyennes quotidiennes de SO₂ (µg/m³)

	Type de station	Station urbaine	
	Lieu du capteur	Notre Dame des Marins	Pati
Période totale	Moyenne	15,30	21,3
	Ecart- type	17,29	23,08
	P5	1	2
	P25	5	6
	P50	10	13
	P75	19	28
	P95	51	66
	Minimum	0	0
	Maximum	150	196
	% Valeurs Manquantes	1,51	3,29
Période estivale	Moyenne	17,09	21,29
	Ecart-type	19,05	22,56
	P5	1	2
	P25	5	6
	P50	11	14
	P75	22	28
	P95	59	66,9
	Minimum	0	0
	Maximum	133	175
	% Valeurs Manquantes	0,41	4,37
Période hivernale	Moyenne	13,46	21,31
	Ecart-type	15,06	23,59
	P5	1	2
	P25	4	6
	P50	9	13
	P75	17	28
	P95	42,45	66
	Minimum	0	0
	Maximum	150	196
	% Valeurs Manquantes	2,61	2,19

ANNEXE 4

Flux d'attraction des principaux hôpitaux publics et privés de la zone de Martigues⁷

Commune	Nombre total de séjours	Nombre de séjours dans chacun des établissements en provenance de chacune des communes étudiées						
		CH Martigues	Clinique chirurgicale Martigues	Clinique générale Maignane	Clinique générale Istres	Clinique générale Etang de Berre Rognac	Hôpital Nord Marseille	
Martigues	7 915	3 826	1 791	86	246	6	199	
Châteauneuf-les-Martigues	2 048	688	479	205	44	7	67	
Sausset-les-Pins	1 115	294	196	69	21	3	63	
Port-de-Bouc	3 996	2 122	657	17	182	3	107	
Saint-Mitre-les-Remparts	810	326	95	7	144	0	14	

GLOSSAIRE

APHEA	Air Pollution and Health, a Européen Approach.
CEE	Communauté Economique Européenne
CIRE	Cellule Inter Régionale d'Epidémiologie
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la pollution Atmosphérique
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DRASS	Direction régionale des Affaires Sanitaires et Sociales
DRIRE	Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'environnement
EIS	Evaluation de l'Impact Sanitaire
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
INSERM	Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
InVS	Institut de Veille Sanitaire
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PDV	Plan de Déplacement Urbain
PPA	Plan de Protection de l'Atmosphère
PRQA	Plan Régionale de la Qualité de l'Air
RNSP	Réseau Nationale de Santé Publique
RSA	Résumé de Sortie Anonymisée

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain – Rapport de l'étude – Institut de Veille Sanitaire – mars 1999.
 - (2) Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique. Une démarche d'analyse de risque à l'échelle locale pour les plans régionaux de la qualité de l'air - Institut de Veille sanitaire - juin 1998.
 - (3) Etat de l'environnement industriel en PACA – DRIRE – 1998.
 - (4) Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine – Guide méthodologique – Institut de Veille Sanitaire – juillet 1999.
 - (5) Recensement général de la population de 1990 ; logements, population, emploi, évolution 1975-1982-1990- Bouches du Rhône – Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques – 1991.
 - (6) Décret n° 98-360 du 6 mai 1998
 - (7) Enquête attractivité 1994, tomes 4 et 4bis : Bouches du Rhône – DRASS PACA, tableau de bord de suivi du SROS.
-
- Données économiques et sociales Provence-Alpes-Côte d'Azur - Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques – Edition 1996.
 - Etude CITEPA – 1994.