MINISTÈRE DE L'EMPLOI
ET DE LA SOLIDARITÉ

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

Institut de
Veille Sanitaire

Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur la zone d'Aix-en-Provence

AIRMARAIX

Ont participé à cette étude :

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

  Laurence PASCAL

- **Cellule Interrégionale d'Epidémiologie Marseille**

  Jean -Luc LASALLE
  Laure ASNAR (stagiaire)

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

  André MELQUIOND

- **AIRMARAIX**

  Patricia GUIEU-RENZI
  Dominique ROBIN

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

  Christelle BRUNO

Photographie de couverture : AIRMARAIX

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.3.1 - Contexte économique 6
II.3.2 - Sources de pollution 7

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 8

II.6 - Détermination de la zone d'étude 8
II.6.1 - Critères de sélection 8
II.6.2 - Zone d'étude retenue 8

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 11
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 métrologiques 12
IV.1.3.1 - Sélection des stations 12
IV.1.3.2 - Construction des indicateurs de pollution 13

IV.2 - Indicateurs sanitaires 15
IV.2.1 - Mortalité 15
IV.2.2 - Morbidité 15

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 17
IV.3.3 - Calcul des gains sanitaires liés à une baisse de la pollution atmosphérique 18
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 - Gain sanitaire 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 24

ANNEXE 1 25
ANNEXE 2 26
ANNEXE 3 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 : Aix-en-Provence (l'étude menée par l'Institut de Veille Sanitaire [1] 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 sanitaire [2] :

- l'exposition à la pollution atmosphérique est documentée par les mesures de la qualité de l'air du réseau de surveillance AIRMARAIX
- 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

L'unité urbaine d'Aix - Marseille est très étendue et ne peut pas être retenue comme région d'étude.
Dans un premier temps, la zone retenue est limitée à la commune d'Aix-en-Provence et aux communes limitrophes de Bouc-Bel-Air, Eguilles, Gardanne, Meyreuil, Le Puy-Sainte-Réparade, Rognes, Saint-Cannat, Le Tholonet et Venelles.
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

La ville d'Aix-en-Provence s'étale dans la plaine de l'Arc qui traverse la commune d'est en ouest. A l'exception d'une barre de collines horizontales au nord de la ville (Entremont/ Celony), le vaste territoire communal est plat, puis se relève presque partout en périphérie : au nord relief de Venelle à La Trévaresse (500m), à l'est contreforts de la Sainte-Victoire (368 m à la tour de César), au sud-est le Montaiguet (301 m), au sud-ouest le plateau du Grand-Arbois (251 m). On note la présence de quelques bois sur les reliefs périphériques et des retenues d'eau du Réaltor au sud-ouest et de La Capelasse au sud-est (Canal de Provence).

II.2 - Conditions climatiques

L'agglomération d'Aix-en-Provence est soumise à des vents dominants locaux favorables à une bonne dilution des polluants : mistral (20% du temps sur l'année) et vent de sud-est (10% du temps sur l'année).
Par régime de vents faibles de nord-est ou nord-ouest, des niveaux moyens de pollution sont enregistrés. Les brises de mer de direction sud-ouest (25% du temps) permettent au contraire la migration de nappes d'air chargées en polluants (dioxyde de soufre et ozone essentiellement) provenant de la zone industrielle Fos - Etang de Berre.
Ces nappes d'air se rechargent localement sur le bassin d'Aix-en-Provence et peuvent être ensuite tracées jusque sur la vallée de la Durance.

II.3 - Contexte économique et sources de pollution

II.3.1 - Contexte économique

L'agglomération d'Aix-en-Provence est caractérisée par le développement des activités du secteur tertiaire[8]. Le tissu industriel est constitué principalement par des industries agroalimentaires (huile d'olive), qui génèrent des rejets de polluants dans l'atmosphère. Le CITEPA et la DRIRE sont chargés d'étudier ces rejets. Le tableau 1 présente les données concernant la répartition des flux de polluants atmosphériques pour l'année 1997 dans les Bouches-du-Rhône.
Cette entité géographique inclut les communes du secteur nord-est de l'Etang de Berre qui regroupent d'importants complexes industriels. En ce qui concerne les taux d'émissions de SO_2, les chiffres cités dans ce tableau sont les résultats de la pollution d'origine industrielle de ces communes et ne reflètent pas correctement les émissions de notre zone d'étude plus restreinte.

II.3.2 - Sources de pollution

Dans le centre d'Aix-en-Provence, la principale source de pollution est liée au trafic automobile qui génère des taux importants de dioxyde d'azote notamment au niveau du boulevard Roy René où la norme CEE est parfois dépassée.
L'agglomération aixoise est également soumise à une pollution soufrée provenant à 85% des activités urbaines (chauffage domestique…).
Par sa position, cette zone est sujette à des phénomènes de transport de pollution pouvant provenir des zones industrialisées de Fos Berre. Cet apport s'élève à 15%.

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 : CITEPA [3]

II.4 - Populations et déplacements

La région délimitée précédemment compte 183 720 habitants [5] et s'étend sur une superficie de 467 km^2.

Les mouvements de population dans la région d'étude sont très importants. Dans la commune d'Aix-en-Provence, on dénombre quotidiennement 45 555 trajets domicile-travail [5] dont 72,5% à l'intérieur de la commune.
En ce qui concerne les communes limitrophes, mise à part la commune de Bouc-Bel-Air, 73 à 80 % 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 : AIRMARAIX, basée à Marseille.

II.5.1 - Description du réseau

Ce réseau de surveillance de la qualité de l'air, régi par la loi 1901, a été créé en 1982 sur l'initiative du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Il compte 42 stations de mesures équipées de 96 analyseurs qui mesurent la qualité de l'air dans l'est des Bouches-du-Rhône. L'association dispose d'une camionnette et d'un laboratoire mobile qui sont des outils de caractérisation de la pollution atmosphérique régionale, complémentaires aux stations de mesures fixes.
Depuis l'instauration de la loi sur l'air du 30 décembre 1996, le réseau a été

chargé, en 1997, de la surveillance des agglomérations de Toulon (Var) et d'Avignon (Vaucluse).

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

Les stations de mesure présentes au niveau de la ville d'Aix en Provence sont récentes et présentent les particularités décrites dans les tableaux 2 et 3.

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

Stations	Type de Station	Hauteur de Prélèvement	Polluants mesurés et date de mise en service.		
			SO_2	**NO_2**	**O_3**
Aix Roy René	Proximité	3 m	1983	1983	-
Aix Ecole d'Art	Urbaine dense	3 m	-	Mai 97	Mai 97
Aix Jas de Bouffan	Suburbaine	3 m	Mai 97	Mai 97	Mai 97
Meyreuil	Rural	3 m	Fév 82	-	-
Bouc Bel Air	Fond	3 m	Janv 82	Janv 82	Jan 82
Gardanne	Fond	3 m	Nov 82	-	-
Gardanne Biver	Fond	12 m	Dec 82	Dec 82	-

Source : AIRMARAIX

Tableau 3 : Méthodes de mesures des différents polluants

Polluants	**Méthode de mesure**
SO_2	Fluorescence UV
$N0_x$	Chimiluminescence
O_3	Photométrie UV
PM10	Microbalance à quartz

Source : AIRMARAIX

II.6 - Détermination de la zone d'étude

II.6.1 - Critères de sélection

Pour cette étape, il est nécessaire d'identifier une zone urbaine [4] :

- 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

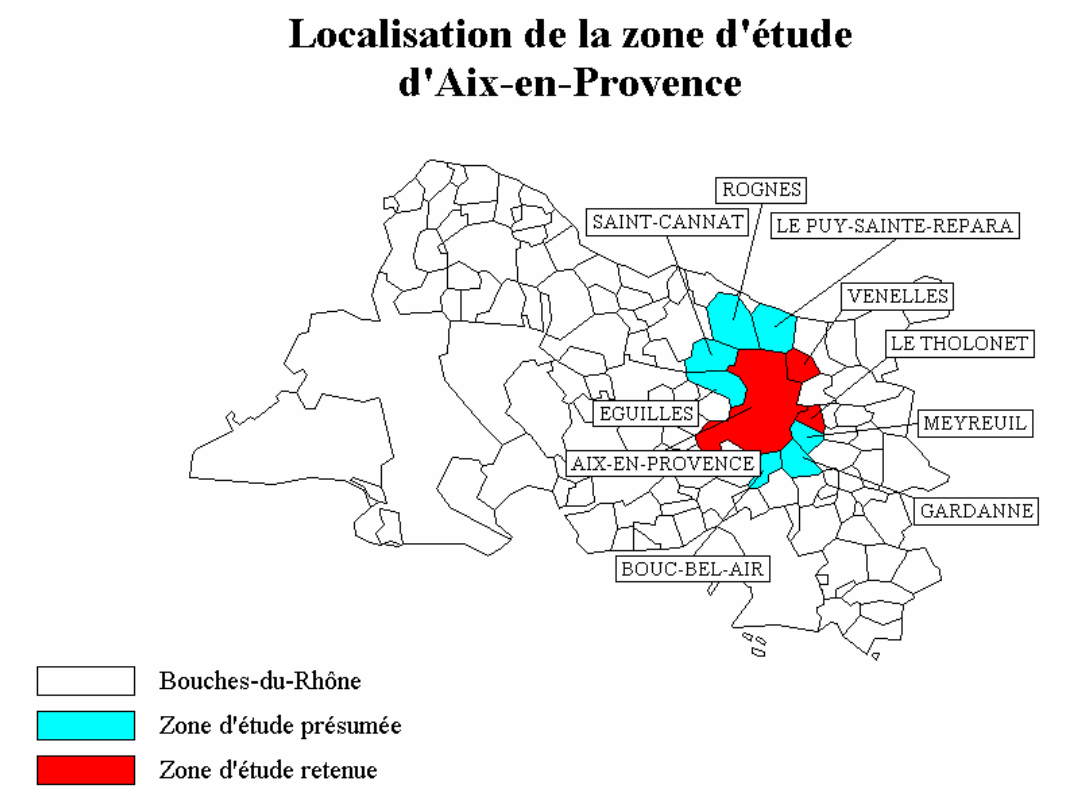
Parmi toutes les villes sélectionnées, toutes ne sont pas conservées :

- Dans la commune de Bouc-Bel-Air, la pollution soufrée provient essentiellement de la zone de l'Etang de Berre. Par ailleurs, plus de la moitié des navettes domicile-travail s'effectuent en dehors de la zone d'étude (annexe 1),
- la commune de Gardanne est soumise à une pollution d'origine industrielle. On constate, de plus, une absence de continuité urbaine avec la commune d'Aix-en-Provence,
- les communes de Meyreuil, Puy-Sainte-Réparade, Rognes et Saint-Cannat sont exclues de la zone d'étude pour des raisons topographiques entraînant une hétérogénéité de la pollution atmosphérique,
- une campagne de mesure menée par l'intermédiaire du laboratoire mobile a montré des niveaux de pollution très faibles à Eguilles,
- Par contre, à Venelles les résultats de la campagne de mesure montrent des niveaux de pollution atmosphérique similaires à ceux d'Aix-en-Provence,
- Puyricard, considéré comme quartier de la ville d'Aix-en-Provence, sera maintenu dans la zone.

Par conséquent, la zone d'étude définitive se limite à 3 communes :

- Aix - en - Provence (et Puyricard)
- Venelles,
- Le Tholonet

Cette zone a une superficie de 225 km^2 et regroupe 132 834 habitants. Près de 74 % des déplacements domicile-travail se font à l'intérieur de la zone retenue (annexe 1).



III - MATERIEL ET METHODE

Cette étude repose sur les principes de l'évaluation de l'impact sanitaire [2]. Elle est basée sur le guide méthodologique développé par l'institut de Veille Sanitaire [4].

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 décret 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 Sanitaire [4].

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'évènements 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.
- $RR= RR_{\Delta}$, 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 obtenus 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 définie au paragraphe II.6.2 regroupe 132 834 habitants [5].
80 % des déplacements domicile-travail [5] se font à l'intérieur de la zone retenue. On peut donc considérer que l'ensemble de la population est exposée toute la journée à la pollution atmosphérique enregistrée sur cette zone.

Tableau 4 : Répartition de la population par communes

Communes	Population (habitants)
Aix-en-Provence	123 778
Le Tholonet	2 004
Venelles	7 052

Source : INSEE 1990

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.
Les stations n'ayant été mises en place qu'à partir de mai 1997, les données métrologiques de l'année 1998 seront utilisées.
Deux périodes d'étude sont donc définies, l'année 1997 pour l'analyse de la mortalité et l'année 1998 pour l'analyse de la morbidité. Les données de pollution de l'année 1998 seront utilisées pour les 2 modélisations.

IV.1.3 - Données métrologiques

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.

Parmi les 3 stations présentes sur la zone d'étude, seules les stations Ecole d'Art et Jas de Bouffan répondent à ces critères; la station Roy René étant une station de proximité automobile.
Les polluants mesurés sont le dioxyde d'azote et l'ozone pour les deux stations qui sont bien corrélées (tableau 5) et le dioxyde de soufre pour la seule station Jas de Bouffan.

Tableau 5 : Coefficients de corrélation inter-station

NO_2	Jas de Bouffan	Ecole d'Arts
Jas de Bouffan	1	0,85
Ecole d'Art	0,85	1

O_3	Jas de Bouffan	Ecole d'Arts
Jas de Bouffan	1	0,95
Ecole d'Art	0,95	1

Les niveaux de polluants sont exprimés en µg/m^3. Les niveaux de SO_2 et de NO_2 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 2.

Sur la période de juin 1997 à septembre 1999 :

- les distributions des concentrations en ozone (moyenne 8 heures) enregistrées par les deux stations sont assez proches : les moyennes sur la période sont respectivement de 74,6 et 72,0 µg/m^3 pour Ecole d'Art et Jas de Bouffan (les moyennes estivales sont de 102 et 99 µg/m^3).
- les valeurs de NO_2 enregistrées par les 2 stations sont relativement proches : les moyennes s'élèvent respectivement à 36,0 et 31,2 µg/m^3 pour Ecole d'Art et Jas du Bouffan,
- la moyenne en SO_2 pour la période s'élève à 7,4 µg/m^3.

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 l'année 1998, l'installation des stations n'ayant débuté qu'en mai 1997. Le taux de valeurs manquantes étant inférieur à 25%, les valeurs mesurées et validées par AIRMARAIX ont été utilisées sans transformation préalable.

Tableau 6 : Distribution des indices d'exposition (1998)

Indicateur d'exposition ($\mu g/m^3$)	NO_2			SO_2			O_3		
Saison	An	Eté	Hiver	An	Eté	Hiver	An	Eté	Hiver
Minimum	7	7	13,5	0	0	0	1,7	34,1	1,7
Percentile 5	14	11,5	18,5	1	1	1	12,7	61,4	9
Percentile 25	25,5	22	33,2	2	3	2	40,3	79,2	26
Médiane	34,7	28	44	5	7	4	63,7	97,7	41,3
Percentile 75	47,1	34,2	57,5	11	13	10	92,8	118,5	55,5
Percentile 95	65,7	44,6	72	32,2	31	41,4	132,3	152	81,2
Maximum	85	51	85	127	45	127	199,4	199,4	117,1
Moyenne Journalière	37,1	28	45,2	10	9,8	10,3	67,8	100,4	44
Ecart-Type	15,8	9,9	15,8	14,2	9,4	17,9	36	28,3	21,4
% VM	8,5	14,2	2,7	2,7	2,2	3,3	1,1	0	0,5

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

La distribution des indicateurs d'exposition par classes de concentration pour chaque polluant est présentée sur les figures 1 à 3.

Figure 1 : Distribution par classes de l' indicateur d'exposition 0_3
(Aix-en-Provence - été 1998)

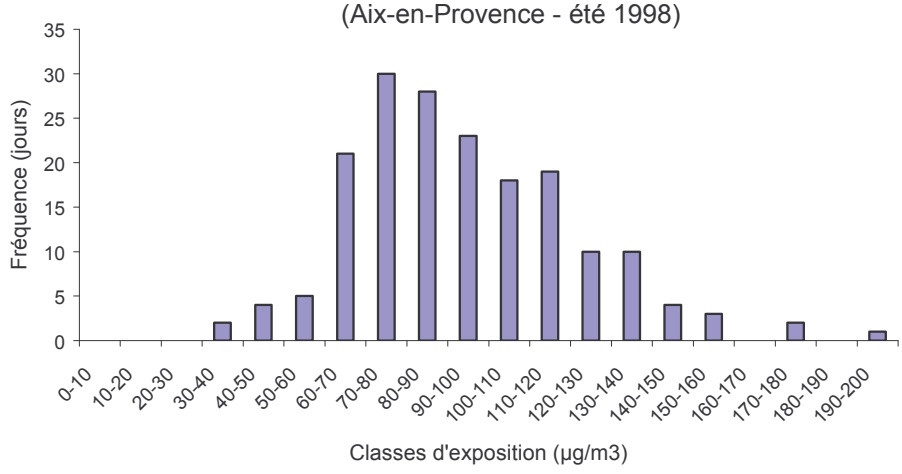


Figure 2 : Distribution par classe de l'indicateur d'exposition NO_2
(Aix-en-provence - 1998)

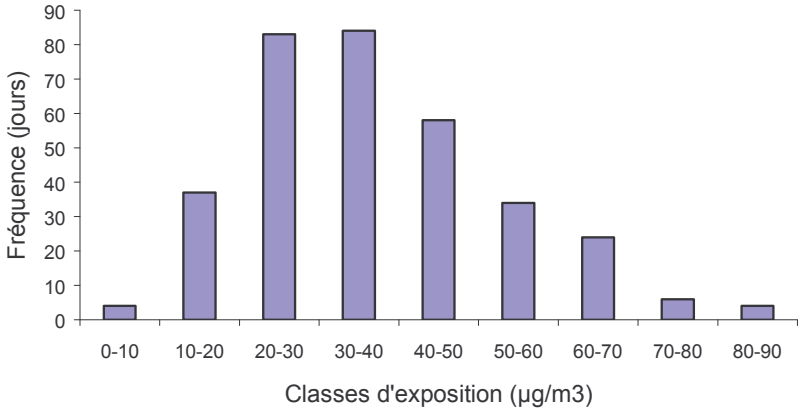
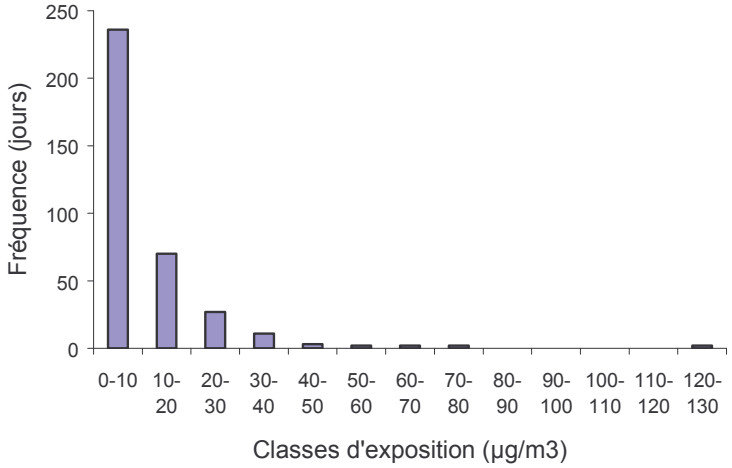


Figure 3 : Distribution par classes de l'indicateur d'exposition SO_2
(Aix-en-Provence - 1998)



IV.2 - Indicateurs sanitaires

IV.2.1 - Mortalité

L'étude concernant la mortalité anticipée a été réalisée avec les données de mortalité de l'année 1997, les données postérieures n'étant pas encore disponibles auprès de l'INSERM. Pour l'ensemble des 3 communes le nombre de décès pour l'année 1997 s'élève à 952 dont 473 pendant la période estivale.

IV.2.2 - Morbidité

Les informations concernant la morbidité hospitalière concernent l'année 1998 et ont été recueillies uniquement pour le CHU d'Aix-en-Provence. L'implantation du PMSI dans les cliniques privées étant récente, l'utilisation de ces données n'a pas été possible.
La proportion de malades allant à l'hôpital Nord de Marseille n'est pas significative pour notre étude, ce qui explique le fait qu'il n'ait pas été retenu (annexe 3).

Le nombre d'hospitalisations de plus de 24 heures enregistrées au cours de l'année 1998 pour les patients en provenance de la zone d'étude 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	733	265	738
Eté 1998	277	96	338
Hiver 1998	456	169	400

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 s'élève respectivement à :

pour le NO_2 : 15,1 [8,0 - 21,9],
pour le SO_2 : 6,2 [3,7 - 9,0],
pour l'ozone (sur la période estivale) : 9,5 [4,6 - 14,4]

- 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	-3.2	3.2
NO_2	Eté	> 65	0.5	-0.3	1.6
NO_2	Hiver	15-64	2.4	-4.8	9.5
NO_2	Hiver	> 65	0	-1.8	2.7
SO_2	Eté	15-64	0.5	-1	2
SO_2	Eté	> 65	1	0.2	1.8
SO_2	Hiver	15-64	0.9	-2.6	6
SO_2	Hiver	> 65	0.6	-0.3	1.3
O_3	Eté	15-64	4.1	-2	10.3
O_3	Eté	> 65	2.8	1.4	4.9

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	10.2	5.9	14.6
NO_2	Eté	5.5	3.1	7.8
SO_2	Hiver	4.7	2	7.5

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 (tableau 10).

Tableau 10 : Impact total de la pollution atmosphérique

	Nombre de cas attribuables	Intervalle de confiance 95%	
Décès anticipés	15,1	8,0	21,9
Morbidité cardiovasculaire	10,2	5,9	14,6
Morbidité respiratoire	2,8	1,4	4,9

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 4 à 6.

Figure 4 : Distribution par classes des niveaux d'exposition journaliers et des impacts associés (mortalité)

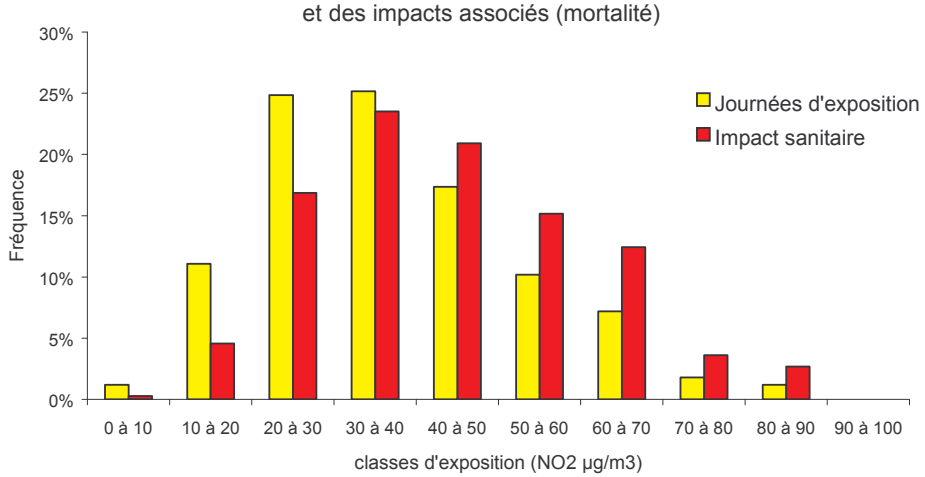
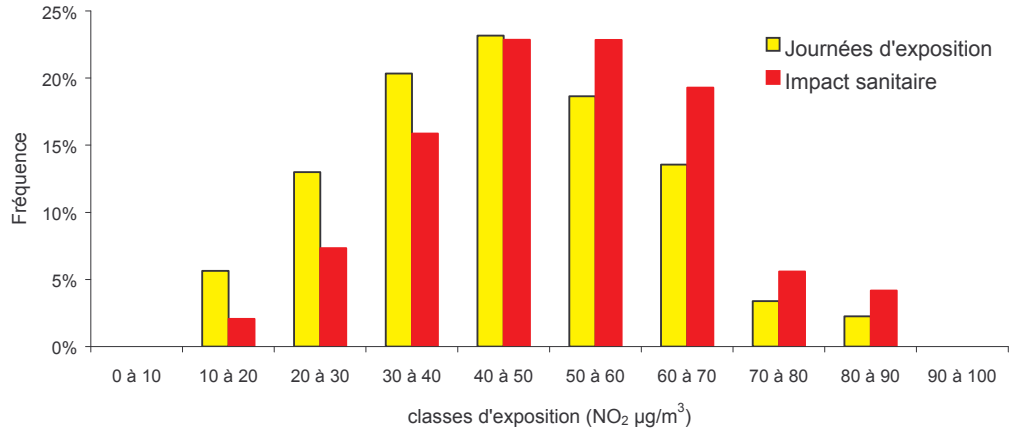
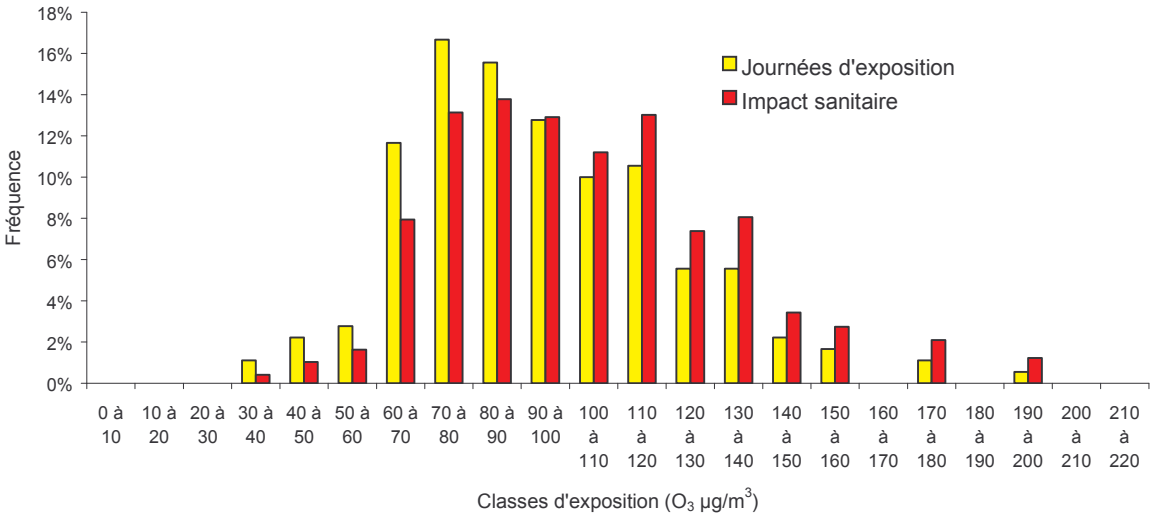


Figure 5 : Distribution par classes des niveaux d'exposition journaliers et des impacts associés (morbidité cardio-vasculaire)



Figuer 6 : 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 réglementation[6] (pour NO_2 : 50 µg/m^3 pour les valeurs moyennes horaires, pour O_3 : 110 µg/m^3 pour les moyennes sur 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.

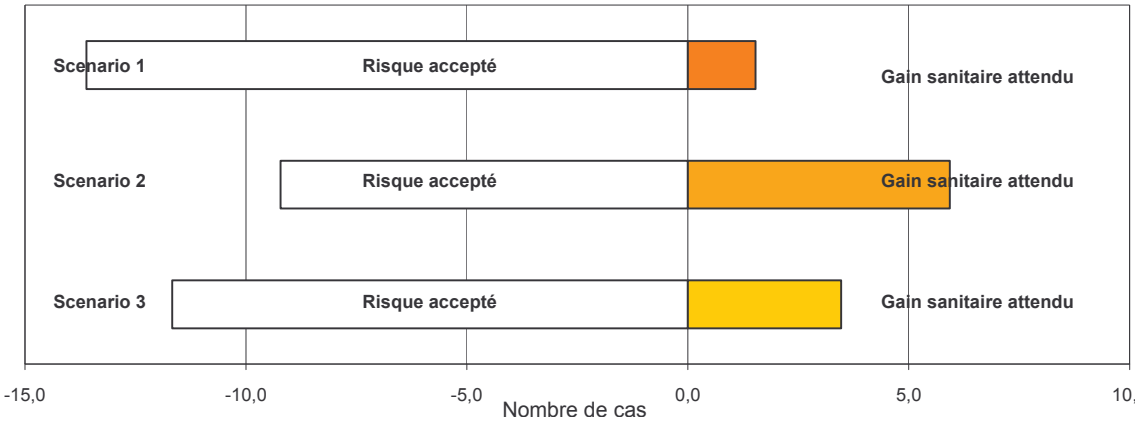
Le fait de ramener tous les niveaux de pollution les plus élevés au niveau de l'objectif de qualité permet d'obtenir un gain sanitaire limité : 1,5 décès anticipés évités soit une réduction de 10%. Par contre, la réduction de 25 % de la pollution permet d'éviter le décès anticipé de près de 6 personnes soit un gain sanitaire de 39 %. Le gain sanitaire atteint grâce au troisième scénario est de 3,5 personnes, soit 23,2 %.

Tableau 11 : Nombre de décès évités suivant les scénarii de dépollution Aix-en-Provence - 1997

	Nombre de décès évités		
	Estimation centrale	Estimation basse	Estimation Haute
Scénario 1	1,5	0,8	2,2
Scénario 2	5,9	3,1	8,5
Scénario 3	3,5	1,8	5,0

Le gain sanitaire et, par conséquent le risque implicitement "accepté", sont représentés sous forme graphique pour chaque scénario (figure 7).

Figure 7 : Gain sanitaire concernant la mortalité anticipée



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

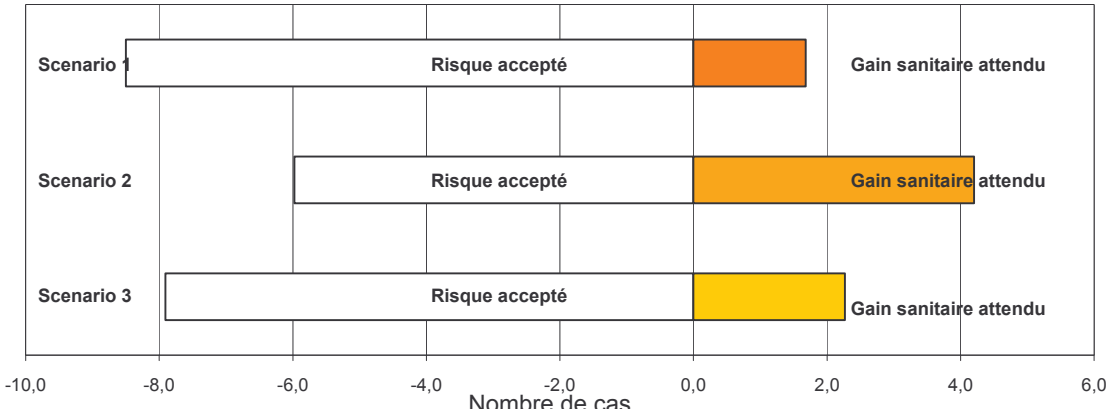
Le premier scénario qui vise à agir uniquement sur les niveaux de pollution les plus élevés n'a permis qu'un gain sanitaire limité à 1,7 entrées hospitalières (16,7%). Le second permet d'éviter l'admission hospitalière de 4,2 personnes, soit un gain sanitaire de 41%. Le troisième permet un gain sanitaire intermédiaire (2,3 entrées) soit 22,5% du total.

Tableau 12 : Nombre d'admissions hospitalières annuelles évitées pour motif cardio-vasculaire suivant les scénarii de dépollution - 1998

	Nombre d'admissions hospitalières évitées (motif cardio-vasculaire)		
	Estimation centrale	Estimation basse	Estimation Haute
Scénario 1	1,7	1	2,4
Scénario 2	4,2	2,5	6
Scénario 3	2,3	1,3	3,3

L'efficacité comparée des différents scénarii est illustrée sous forme graphique (figure 8)

Figure 8 : Efficacité des scénarii (morbidité cardio-vasculaire)



IV.3.3.3 - Gain sanitaire pour la morbidité respiratoire

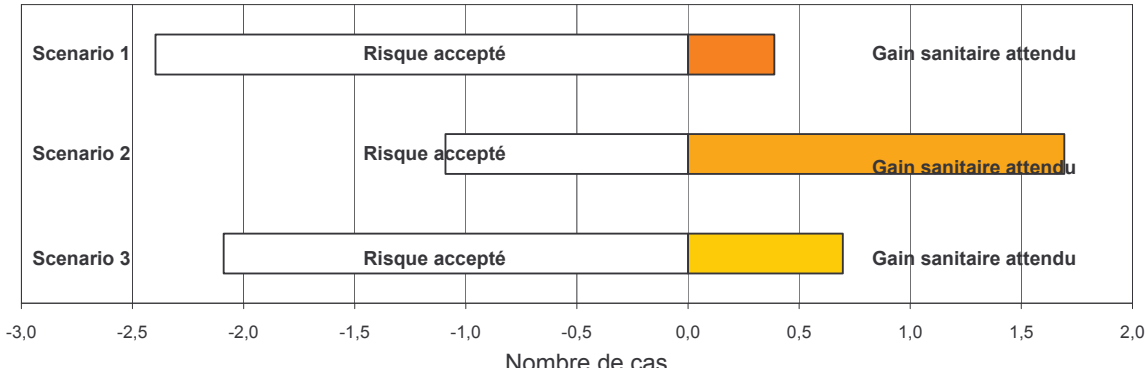
L'action sur les niveaux de pollution les plus élevés permet un gain sanitaire qui reste très faible (0,4 personnes - 14%) et inférieur au second et troisième scénario qui permettent respectivement d'éviter l'admission hospitalière de 1,7 (61%) et 0,7 personnes (25%).

Tableau 13 : Nombre d'admissions hospitalières annuelles évitées pour motifs respiratoires suivant les différents scénarii - 1998

	Nombre d'admissions hospitalières évitées (motifs respiratoires)		
	Estimation centrale	Estimation basse	Estimation Haute
Scénario 1	0,4	0,2	0,7
Scénario 2	1,7	0,9	2,9
Scénario 3	0,7	0,3	1,2

L'efficacité comparée des différents scénarii est illustrée sous forme graphique (figure 9)

Figure 9 : Efficacité des différents scénarii (morbidité 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.

Par ailleurs, le résultat concernant l'agglomération d'Aix-en-Provence devra être confirmé par la suite en utilisant des indicateurs d'exposition et des indicateurs sanitaires calculés sur la même période, ce qui n'a pas été possible lors de cette étude.

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 résidente. 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. Une collaboration avec les métrologistes des réseaux de surveillance doit permettre d'optimiser l'estimation de l'exposition.

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. C'est particulièrement le cas pour la zone d'étude d'Aix-en-Provence pour laquelle seulement 39% des admissions s'effectue au CHU d'Aix-en-Provence.
Par ailleurs, la proportion d'admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires par rapport à la population semble plus faible de ce que l'on pourrait attendre (en comparaison d'autres communes de la région). Cela pourrait être lié à la présence à Aix-en-Provence d'une clinique à vocation cardio-vasculaire.

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 133 000 habitants, la pollution atmosphérique provoque chaque année 15,1 [8 ; 21,9] décès anticipés ainsi que 13 admissions hospitalières (10,2 [5,9 ; 14,6] pour des effets cardio-vasculaires et 2,8 [1,4 ; 4,9] 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 année.

Ainsi sur la zone d'étude d'Aix-en-Provence, les niveaux de pollution inférieurs aux objectifs de qualité [6] sont responsables de :

- 62% des entrées hospitalières pour motifs respiratoires attribuables à la pollution atmosphérique en été si l'on prend comme indicateur prépondérant l'ozone (objectif de qualité = 110 µg/m^3),
- 48% des entrées hospitalières pour motifs cardio-vasculaires attribuables à la pollution atmosphérique en hiver pour le dioxyde d'azote (objectif de qualité = 50 µg/m^3),
- 69% des décès anticipés annuels attribuables à la pollution atmosphérique pour le dioxyde d'azote.

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 :

- 39% pour les décès anticipés,
- 41% pour les entrées hospitalières pour motifs cardiovasculaires,
- 61% des entrées hospitalières pour motifs respiratoires

Le gain sanitaire lié à l'abaissement des niveaux de pollution les plus élevés au niveau des objectifs de qualité ne serait respectivement que de 10%, 16,7% et 14%.

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 les 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]

Déplacements dans la zone géographique élargie

Communes	Total des déplacements	Dans la commune	Dans la zone géographique
Aix-en-Provence	45 555	32 962 (72,5%)	34 889 (76,6%)
Bouc-Bel-Air	4 524	1 104 (24,4%)	2 154 (47,6%)
Eguilles	2 310	660 (28,5%)	1 753 (75,9%)
Gardanne	6 086	3 053 (50,2%)	4 462 (73,3%)
Meyreuil	1 295	443 (34,2%)	1 019 (78,7%)
Puy-Sainte-Réparade	1 638	791 (48,3%)	1 272 (77,6%)
Rognes	1 202	538 (44,7%)	938 (78%)
Saint-Cannat	1 402	491 (35%)	1 067 (76,1%)
Tholonet (Le)	781	207 (26,5%)	625 (80%)
Venelles	2 888	737 (25,5%)	2 255 (78,1%)
TOTAL	67 681	-	50 434 (74,5%)

Déplacements dans la zone géographique restreinte

Communes	Total des déplacements	Dans la commune	Dans la zone géographique
Aix-en-Provence	45 555	32 962 (72,5%)	33 549 (73,6%)
Tholonet (Le)	781	207 (26,5%)	585 (74,9%)
Venelles	2 888	737 (25,5%)	2 181 (75,5%)
TOTAL	49 224	-	36 315 (73,8%)

ANNEXE 2

Distribution des polluants par station

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

	Lieu du capteur	Ecole d'Art	Jas de Bouffan
	Type de station	Urbaine dense	Suburbaine
période totale	Minimum	0,63	0,25
	Percentile 5	15,86	14,38
	Percentile 25	46,22	41,34
	Médiane	70,69	69,94
	Percentile 75	100,59	99,13
	Percentile 95	138,92	138,92
	Maximum	198,50	198,5
	Moyenne	74,61	71,98
	Ecart-Type	38,57	38,15
	VM %	0,84	0,63
période estivale	Minimum	30,88	9,5
	Percentile5	60,50	60
	Percentile 25	80,25	78,20
	Médiane	98,38	96,44
	Percentile 75	121,75	117.25
	Percentile 95	154,95	148,57
	Maximum	200,38	198,5
	Moyenne	101,89	98,98
	Ecart-Type	29,53	28,5
	VM %	1,31	0,65
période hivernale	Minimum	0,63	0,25
	Percentile 5	10,63	9,32
	Percentile 25	28,81	26,47
	Médiane	46,13	41,25
	Percentile 75	59,69	56,38
	Percentile 95	84,61	83,49
	Maximum	119,88	114,38
	Moyenne	45,51	42,70
	Ecart-Type	22,44	22,47
	% VM	1,02	1,31

- Distribution des valeurs moyennes 24 heures de NO_2 par station

	Lieu du capteur	Ecole d'Art	Jas de Bouffan
	Type de station	Urbaine dense	Suburbaine
période totale	Minimum	7	3
	Percentile 5	14,75	11
	Percentile 25	25	21
	Médiane	34	30
	Percentile 75	45	41
	Percentile 95	65	55,65
	Maximum	92	81
	Moyenne	36,02	31,20
	Ecart-Type	15,37	13,81
	VM %	3,17	4,02
période estivale	Minimum	7	3
	Percentile5	14	9
	Percentile 25	22	19
	Médiane	29	26
	Percentile 75	37	34
	Percentile 95	49	46
	Maximum	75	61
	Moyenne	29,96	26,81
	Ecart-Type	10,78	10,74
	VM %	4,91	4,09
période hivernale	Minimum	9	5
	Percentile 5	15	12
	Percentile 25	30	24,75
	Médiane	42	36
	Percentile 75	53	46,25
	Percentile 95	71,45	61
	Maximum	92	81
	Moyenne	42,27	35,90
	Ecart-Type	16,84	15,13
	% VM	1,31	3,94

- Distribution des valeurs moyennes 24 heures de SO_2 pour la station Jas du Bouffan

	Lieu du capteur Type de station	Jas de Bouffan Suburbaine
période totale	Minimum	0
	Percentile 5	0
	Percentile 25	2
	Médiane	4
	Percentile 75	9
	Percentile 95	26,50
	Maximum	127
	Moyenne	7,44
	Ecart-Type	10,65
	VM %	3,70
période **hivernale**	Minimum	0
	Percentile5	0
	Percentile 25	2
	Médiane	5
	Percentile 75	12
	Percentile 95	28,30
	Maximum	63
	Moyenne	8,39
	Ecart-Type	8,85
	VM %	3,07
période estivale	Minimum	0
	Percentile 5	0
	Percentile 25	1
	Médiane	3
	Percentile 75	7
	Percentile 95	22
	Maximum	127
	Moyenne	6,41
	Ecart-Type	12,24
	% VM	4,38

ANNEXE 3

Flux d'attraction des principaux hôpitaux publics et privés de la zone d'Aix-en-Provence [7]

Commune			Aix-en-Provence	Puyricard	Venelles	TOTAL
Nombre total de séjours			19 662	1 111	980	21 753
Nombre de séjours dans chacun des établissements en provenance de chacune des communes étudiées	HOPITAUX	Hôpital Nord	365 2%	17 1%	24 2%	406 2%
		CHU d'Aix	7 790 40%	362 32%	321 33%	8 473 39%
	CLINIQUES	Axium	909 5%	46 4%	50 5%	1 005 4,6%
		Matern Etoile	673 3%	89 8%	63 6%	825 3,8%
		Parc Rambot	3 127 16%	146 13%	214 22%	3 487 16%
		Saint-Jean	554 3%	17 1,5%	18 2%	589 2,7%
		Saint-Thomas	935 5%	23 2%	28 3%	986 4,5%
		Tour d'Aygosi	2 579 13%	265 24%	117 12%	2 961 13,6%

GLOSSAIRE

APHEA	Air Pollution and Health, a Européen Approch.
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.

(8) Données économiques et sociales Provence-Alpes-Côte d'Azur - Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques – Edition 1996.