

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine

Agglomération de Toulon
Impact à court et long terme



Drass PACA
Cire Sud



Cette étude a été réalisée par :

Karine Mantey – Programme de formation à l'épidémiologie de terrain
Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud

Ont participé à la réalisation de cette étude :

- **Institut de veille sanitaire**
Département santé environnement
Laurence Pascal
- **Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud**
Jean-Luc Lasalle
Florian Franke
- **Airmaraix**
Patricia Guieu-Renzi
Dominique Robin
- **Direction départementale des affaires sanitaires et sociales du Var**
Service santé environnement
Damien Di Savino
- **Communauté d'agglomération de Toulon**
Gilles Rondeau
- **Direction régionale des affaires sanitaires et sociales Provence-Alpes-Côte-d'Azur**
Service statistiques
Béatrice Pano
André Melquiond

Sommaire

Acronymes	4
Résumé	5
1. Objectifs	7
2. Description de la zone d'étude	9
2.1. Choix de la zone d'étude	9
2.2. Population et établissements de soins	11
2.2.1. Densités de population	11
2.2.2. Attractivité hospitalière	11
2.3. Sources de pollution	11
3. Matériel et méthodes	13
3.1. Méthodologie de l'EIS	13
3.1.1. Identifications des dangers	13
3.1.2. Estimation de l'exposition	13
3.1.3. Choix des relations exposition-risque	14
3.1.4. Caractérisation du risque	15
3.2. Définition des périodes d'étude	16
3.3. Construction des indicateurs d'exposition	17
3.3.1. Données de surveillance de la qualité de l'air	17
3.3.2. Sélection des stations de mesure	18
3.4. Indicateurs sanitaires	18
3.4.1. Données de mortalité	18
3.4.2. Données de morbidité	18
4. Résultats	19
4.1. Description des indicateurs de pollution	19
4.2. Indicateurs sanitaires	21
4.3. Caractérisation du risque à court terme	22
4.3.1. Estimation de l'impact sanitaire total	22
4.3.2. Impact sanitaire par niveaux de pollution	23
4.3.3. Calcul des gains sanitaires liés à une baisse de la pollution atmosphérique	24
4.4. Caractérisation du risque à long terme	27
5. Discussion	29
5.1. Hypothèses, limites et incertitudes	29
5.1.1. Identification des dangers	29
5.1.2. Relations exposition/risque	29
5.1.3. Estimation de l'exposition	29
5.1.4. Caractérisation du risque	30
5.2. Interprétation des résultats	30
6. Conclusion	31
6.1. Un impact collectif à court terme sur la mortalité non négligeable	31
6.2. Un impact sanitaire à long terme mesurable	31
6.3. Recommandations	31
6.4. Des résultats à enrichir et à communiquer	31
7. Bibliographie	33
8. Annexes	35

Acronymes

AASQA :	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
Aphea :	Air pollution and health- a European approach
CO :	monoxyde de carbone
CO₂ :	dioxyde de carbone
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 :	évaluation d'impact sanitaire
Finess :	fichier national des établissements sanitaires et sociaux
FN :	fumées noires
Insee :	Institut national de la statistique et des études économiques
Inserm :	Institut national de la santé et de la recherche médicale
InVS :	Institut de veille sanitaire
NO₂ :	dioxyde d'azote
NO_x :	oxydes d'azote
O₃ :	ozone
OMS :	Organisation mondiale de la santé
PACA :	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PDU :	Plan de déplacement urbain
PM10 :	particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns
PMSI :	Programme de médicalisation des systèmes d'information
PRQA :	Plan régional pour la qualité de l'air
PSAS-9 :	Programme de surveillance air et santé- 9 villes
RSA :	résumé de sortie anonymisé
SO₂ :	dioxyde de soufre
UV :	ultraviolet

Résumé

L'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Toulon s'inscrit dans la continuité des orientations du Plan régional pour la qualité de l'air de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, qui fixe les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique.

Dans cette étude, l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique est calculé en terme de morbidité (admissions hospitalières) et de mortalité anticipée. L'impact sanitaire à long terme est estimé par le nombre de décès attribuables à la pollution atmosphérique.

La zone d'étude retenue correspond à une zone urbaine où l'exposition de la population à la pollution atmosphérique peut être considérée comme homogène. Quatre communes la compose : Toulon, La Garde, La Seyne-sur-mer et La Valette-du-Var, représentant une population totale de 267 808 habitants.

Deux périodes d'étude ont été définies : l'année 1999 pour l'analyse de la mortalité et l'année 2000 pour l'analyse de la morbidité et de l'impact sanitaire à long terme.

Cette étude repose sur les principes méthodologiques de l'EIS de la pollution atmosphérique urbaine dont la méthodologie se décompose en quatre étapes : identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition-risque et caractérisation du risque.

Les indicateurs de pollution retenus sont construits à partir des quatre polluants mesurés en routine sur la zone : NO₂, O₃, PM10 et SO₂. Les relations exposition/risque utilisées sont issues d'études épidémiologiques réalisées en population générale, en privilégiant les études multicentriques et européennes.

Le nombre total de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique sur l'année 1999 s'élève à 84 décès dont 30 décès suite à une pathologie cardiovasculaire et 10 décès suite à une pathologie respiratoire. Le calcul des gains sanitaires associé à différents scénarios de réduction de la pollution atmosphérique montre que les scénarios les plus efficaces sont ceux qui correspondent à des diminutions de 25 % de la moyenne annuelle du polluant considéré.

Concernant les gains sanitaires à long terme, les différents scénarios montrent que la norme européenne prévue pour 2005 est d'ores et déjà respectée. Le respect de la norme européenne prévue en 2010 devrait cependant permettre d'éviter 118 décès sur la totalité des décès enregistrés sur une année.

Compte tenu des incertitudes et des limites de la méthodologie utilisée, les résultats doivent être interprétés comme des ordres de grandeur de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé de la population de la zone étudiée.

Cependant, cette étude montre que même si les risques relatifs associés à la pollution atmosphérique sont faibles, la proportion importante de personnes exposées aboutit à un impact collectif sur la mortalité non négligeable. Elle montre également que les effets sanitaires apparaissent déjà à des niveaux de pollution bien inférieurs à ceux pour lesquels les mesures sont prises actuellement et que les actions les plus efficaces seraient donc celles qui associeraient une réduction des émissions à la source de façon quotidienne à une diminution importante du nombre de pics annuels de pollution.

1. Objectifs

Le Plan régional pour la qualité de l'air (PRQA), prévu par la loi du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, 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 est également un outil de planification et d'évaluation des politiques publiques puisqu'elle permet d'une part, de fixer des objectifs d'amélioration de la qualité de l'air et, d'autre part, de mesurer l'impact sur la santé publique et l'efficacité des mesures de prévention.

La 6^{ème} orientation du PRQA [1] de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) indique que «la surveillance épidémiologique, croisant des données sur la santé et d'autres sur la qualité de l'air, sera poursuivie». Dans ce cadre, deux évaluations d'impact sanitaire (EIS) ont déjà été réalisées en 2001 sur l'agglomération d'Aix-en-Provence [2] et sur la ville de Martigues [3]. La réalisation de l'EIS sur l'agglomération de Toulon décrite dans ce rapport s'inscrit dans la continuité des actions de surveillance menées en région PACA. Par ailleurs, cette étude s'inscrit pleinement dans le cadre du programme pluri annuel de la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (Ddass) du Var qui fait état de cette étude dans sa fiche action sur l'air pour 2003.

Cette étude suit la démarche méthodologique d'évaluation d'impact sanitaire décrite par l'Institut de veille sanitaire (InVS) [4], en accord avec les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), de manière à calculer l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique en terme de morbidité (admissions hospitalières) et de mortalité anticipée. De plus, dans cette étude, une estimation à long terme permet pour la première fois en région PACA d'évaluer l'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité grâce aux résultats des études épidémiologiques internationales utilisés pour réactualiser le guide méthodologique de l'InVS [5].

2. Description de la zone d'étude

Le Var est un département côtier d'une superficie de 5 973 km² situé en région PACA, délimité par la côte méditerranéenne au sud, les départements des Bouches-du-Rhône à l'ouest, des Alpes-de-Haute-Provence au nord et des Alpes Maritimes à l'est.

Le Var possède un relief varié et accidenté avec un point culminant à 1 715 mètres (Mont Lachens), les plaines sont de petites dimensions, elles s'introduisent entre les massifs ou se situent vers la côte.

2.1. Choix de la zone d'étude

La sélection de la zone d'étude repose sur l'identification d'une zone urbaine où l'exposition de la population à la pollution atmosphérique peut être estimée et considérée comme homogène. Cela implique que la zone d'étude définie réponde aux critères suivants :

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

L'unité urbaine de Toulon, définie par l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee), s'étend sur deux départements (Var et Bouches-du-Rhône) regroupant au total 26 communes qui représentaient au dernier recensement Insee [6] de 1999 une population de 519 640 habitants.

Une première réunion avec la Ddass du Var et les services de l'urbanisme de la communauté d'agglomération de Toulon a permis, dans un premier temps, de réduire la zone d'étude aux sept communes de l'agglomération de Toulon respectant le principe de continuité urbaine. Ces sept communes étaient : Toulon, La Garde, Le Pradet, La Seyne-sur-mer, Six-Fours-les-plages, Sanary-sur-mer et La Valette-du-Var.

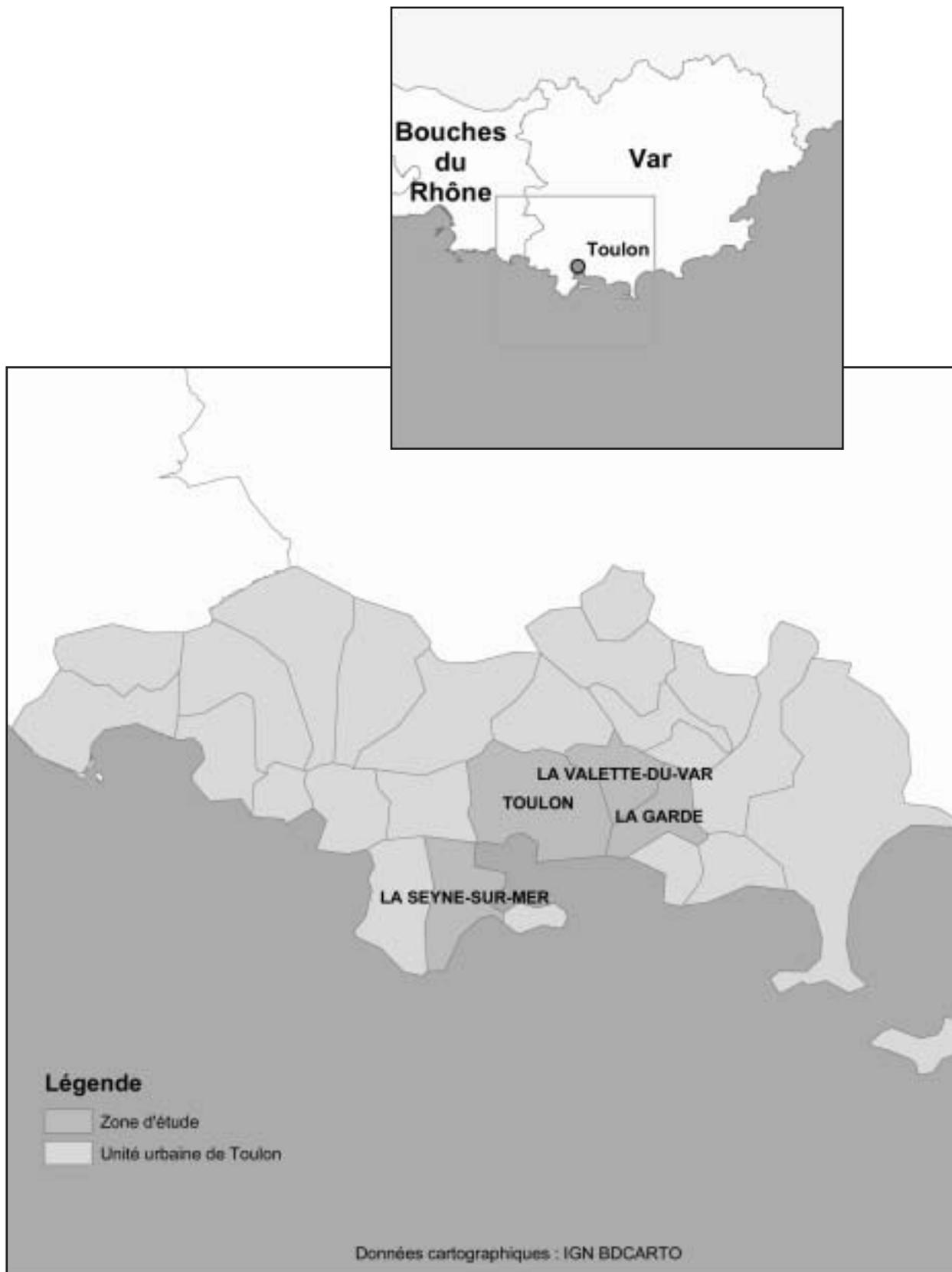
A partir de cette zone, Airmaraix, Association agréée de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) pour le département du Var, a fourni les valeurs moyennes des différents polluants mesurés, soit au niveau des stations de mesures fixes, soit lors des campagnes mobiles dans les sept communes retenues. La pollution moyenne mesurée dans ces communes a permis, dans un second temps, de définir une zone homogène en terme d'immissions qui regroupait quatre communes : Toulon, La Garde, La Seyne-sur-mer et La Valette-du-Var.

Par la suite, l'étude des déplacements de population (navettes domicile-travail*) par commune au sein de la zone définie par ces quatre communes montrait que 77 % de ces déplacements se faisaient à l'intérieur de cette zone (Annexe 1).

Au final les quatre communes ont été retenues pour constituer la zone d'étude, cette zone sera dénommée par la suite Toulon, elle est présentée sur la figure 1.

* Source : Insee - Données 1999

Figure 1. Localisation de la zone d'étude



2.2. Population et établissements de soins

2.2.1. Densités de population

La zone d'étude représente une population totale de 267 808 habitants au dernier recensement Insee de 1999. La densité globale de cette zone est de 2 788 habitants par km². Le tableau 1 présente la répartition des populations au sein des quatre communes retenues dans la zone d'étude et les densités de population correspondantes.

Tableau 1. Répartition de la population sur la zone d'étude*, 1999

Code communal	Commune	Population 1999	Superficie (km ²)	Densité (hab/km ²)
83137	Toulon	160 712	42,84	3 751,45
83062	La Garde	25 299	15,54	1 627,99
83126	La Seyne-sur-mer	60 070	22,17	2 709,51
83144	La Valette-du-Var	21 727	15,50	1 401,74
TOTAL		267 808	96,05	2 788,21

* Source : Insee Recensement 1999

Le tableau 2 montre la répartition par tranche d'âge de la population de la zone d'étude.

Tableau 2. Répartition de la population de la zone d'étude par tranches d'âge*, 1999

Commune	Population 0-14 ans	Population 15-64 ans	Population ≥ 65 ans
Toulon	25 850	98 418	36 443
La Garde	4 378	16 505	4 416
La Seyne-sur-mer	10 946	37 856	11 268
La Valette-du-Var	3 622	14 118	3 988
TOTAL	44 796	166 897	56 115

* Source : Insee Recensement 1999

2.2.2. Attractivité hospitalière

Le pôle hospitalier de Toulon-La Seyne-Ollioules attire plus de 75 % de la population[†] résidant dans les 4 communes sélectionnées pour la zone d'étude [7] (Annexe 2).

Les établissements de soins présents dans la zone d'étude et susceptibles de recevoir les patients souffrant des pathologies retenues pour cette étude (pathologies respiratoires, cardiovasculaires et cardiaques) sont au nombre de 10. La liste est présentée en Annexe 2.

2.3. Sources de pollution

La principale source de pollution atmosphérique dans l'agglomération toulonnaise est liée au trafic routier. Les émissions atmosphériques des véhicules ont été estimées en 1999 à l'occasion de la mise en place du Plan de déplacement urbain [8] (PDU) de l'agglomération toulonnaise. Elles sont présentées en tonnes par jour dans le tableau 3.

[†] Ces données ne prennent pas en compte les admissions hospitalières à l'Hôpital d'instruction des armées Sainte-Anne qui ne font pas partie du champ PMSI.

Tableau 3. Emissions journalières des véhicules, Toulon*, 1999

Polluant	Emissions (en tonnes/jour)
Monoxyde de carbone (CO)	107,1
Dioxyde de carbone (CO ₂)	9 268,0
Oxyde d'azote (NO _x)	49,5
Composés organiques volatils (COV)	17,1
Particules	3,6
Dioxyde de soufre (SO ₂)	2,7

* Source : PDU de l'agglomération de Toulon

En 1999, le trafic routier représentait la principale source d'émissions de NO_x (environ 92 %) sur l'unité urbaine de Toulon.

3. Matériel et méthodes

3.1. Méthodologie de l'EIS

Cette étude repose sur les principes méthodologiques de l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine proposée par l'Institut de veille sanitaire.

Cette méthodologie se décompose en 4 étapes : identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition-risque et caractérisation du risque.

3.1.1. Identifications des dangers

Cette étape a pour objectif d'établir les dangers liés à un polluant à partir de données toxicologiques et épidémiologiques.

Les effets connus de la pollution atmosphérique sur la santé à l'échelle des populations urbaines sont les effets sur la mortalité toutes causes, cardiovasculaire et respiratoire ainsi que ceux sur la morbidité étudiés au travers des admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardiovasculaires.

L'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité se traduit par un nombre de décès anticipés attribuables à un différentiel de pollution donné au cours d'une année. Un décès anticipé est un décès qui n'aurait pas eu lieu ce jour là si le niveau de pollution avait été inférieur à celui mesuré. La méthodologie utilisée dans le cadre du Programme de surveillance air et santé des 9 villes (PSAS-9) ne permet pas d'estimer ce délai d'anticipation, mais il serait de l'ordre de quelques semaines à quelques mois selon le type de pathologie à l'origine du décès.

3.1.2. 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.

Les indicateurs de pollution retenus pour étudier les effets de la pollution atmosphérique sur la santé sont ceux visés par le décret relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et l'environnement (décret 2002-213 du 15 février 2002).

Cinq polluants mesurés en routine permettent la construction des indicateurs d'exposition pour les études d'impact sanitaire : les particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns (PM10), les fumées noires (FN) et le dioxyde de soufre (SO₂) pour la pollution acido-particulaire, le dioxyde d'azote (NO₂) et l'ozone (O₃) pour la pollution photo-oxydante.

Il est nécessaire de construire, pour chaque polluant, un indicateur d'exposition reflétant au mieux les concentrations auxquelles la population est soumise.

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

La méthode utilisée pour la construction des indicateurs d'exposition pour les études à court terme et à long terme est identique mais, pour le calcul de l'impact sanitaire à long terme c'est la moyenne annuelle qui est prise en compte. En effet, les relations exposition-risque à long terme disponibles sont basées sur des moyennes annuelles d'exposition.

3.1.3. Choix des relations exposition-risque

Dans son guide méthodologique [4], l'InVS a retenu des relations exposition/risque issues d'études épidémiologiques, réalisées en population générale, s'intéressant directement aux liens existant entre la pollution de l'air et la santé de l'homme. Les études multicentriques et européennes ont été privilégiées.

Dans les tableaux 4 à 8, les risques relatifs des fonctions exposition/risque apparaissent en gras lorsqu'ils sont significatifs.

- EIS court terme

Depuis la parution du guide méthodologique de l'InVS en 1999, les fonctions exposition/risque concernant ces indicateurs ont été actualisées d'une part, au niveau européen, dans le cadre du programme Air pollution and health- a European approach [9] (Apeha2) et, d'autre part, au niveau national, dans le cadre du PSAS-9 [10].

• Mortalité totale, cardiovasculaire et respiratoire

Les fonctions exposition/risque produites par le PSAS-9 phase II sont utilisées pour SO₂, NO₂, O₃. En revanche, pour les PM10, les fonctions exposition/risque du programme Apeha2 sont utilisées.

Tableau 4. Risques relatifs de mortalité (et intervalles de confiance à 95 %) estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ des indicateurs de pollution

Mortalité	PM10*	SO ₂ **	NO ₂ **	O ₃ **
Toutes causes	1,006 [1,004 – 1,008]	1,011 [1,005-1,017]	1,010 [1,007-1,013]	1,007 [1,003-1,010]
Cardiovasculaire		1,008 [1,004-1,011]	1,012 [1,005-1,018]	1,011 [1,004-1,018]
Respiratoire		1,011 [1,001-1,021]	1,013 [1,005-1,021]	1,012 [1,006-1,019]

* Source : Apeha2

** Source : PSAS-9

• Admissions hospitalières

Les fonctions exposition/risque, établies pour ces indicateurs sanitaires dans le cadre du PSAS-9, comportent un degré d'incertitude incompatible avec leur utilisation en routine pour la réalisation d'EIS. Les fonctions exposition/risque élaborées dans le cadre d'Apeha1 [11] et Apeha2 [12] sont utilisées.

Tableau 5. Risques relatifs d'admissions hospitalières pour pathologies respiratoires (et intervalles de confiance à 95 %) estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux des polluants

	Admissions hospitalières pour pathologies respiratoires	
	Chez les 15-64 ans	Chez les 65 ans et plus
SO ₂	1,002 [0,998 - 1,005] *	1,004 [1,001 - 1,009] *
FN	1,006 [1,001 - 1,010] *	1,001 [0,993 - 1,009] **
PM10		1,009 [1,006 - 1,013] **
NO ₂	1,002 [0,997 - 1,007] *	1,004 [0,996 - 1,012] *
O ₃ été	1,004 [0,998 - 1,010] *	1,008 [1,004 - 1,014] *

* Source Apeha1

** Source Apeha2

Concernant les admissions hospitalières pour pathologies cardiovasculaires, les fonctions exposition/risque utilisées pour les indicateurs de pollution SO₂ et NO₂ sont celles du guide méthodologique de l'InVS 1999 [4].

Tableau 6. Risques relatifs d'admissions hospitalières pour pathologies cardio-vasculaires (et intervalles de confiance à 95 %) estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ des polluants

Polluant	Saison	Pathologies cardiovasculaires tous âges*
SO ₂	Hiver	1,013 [1,006 - 1,020]
NO ₂	Hiver	1,010 [1,006 - 1,014]
NO ₂	Eté	1,012 [1,007 - 1,017]

* Source PSAS-9

Pour les PM₁₀, des relations exposition/risque ont été produites dans le cadre du programme Apeha2 [13] pour les indicateurs de pathologies cardiaques uniquement.

Tableau 7. Risques relatifs d'admissions hospitalières pour pathologies cardiaques (et intervalles de confiance à 95 %) estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ des PM₁₀*

	Admissions pour pathologies cardiaques*	
	Tous âges	65 ans et plus
PM ₁₀	1,005 [1,002 - 1,008]	1,007 [1,004 - 1,010]

* Source : Apeha2

- EIS long terme

Pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme, c'est la fonction exposition/risque de l'étude tri-nationale [14], analysant l'impact des PM₁₀ sur la mortalité toutes causes qui est utilisée. Cette fonction est également retenue par l'OMS.

Tableau 8. Risques relatifs de mortalité à long terme (et intervalles de confiance à 95 %) estimés pour une augmentation de 10 µg/m³ des PM₁₀

Mortalité	PM ₁₀ *
Toutes causes	1,043 [1,026 - 1,061]

*Source : étude tri-nationale

3.1.4. Caractérisation du risque

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

Le nombre d'événements sanitaires attribuables à un niveau de pollution atmosphérique donné est calculé 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)), 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 ;
- $RR = RR_{\Delta}$, où RR_{Δ} est l'excès de risque associé au différentiel de pollution Δ étudié, donné par la relation exposition-risque. En effet, le risque relatif n'est pas calculé en référence à un niveau de pollution nul dont le RR serait égal à 1 mais à un niveau de base non nul fonction de la distribution de l'indicateur considéré au cours de la période d'étude et de l'objectif de l'EIS.

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 :

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

- N = nombre moyen d'événements 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 pour chaque jour.

Ce calcul s'applique pour chacun des indicateurs d'exposition caractérisant la pollution urbaine. Cependant, les risques relatifs associés à chaque indicateur n'étant pas indépendants, les nombres d'événements attribuables aux indicateurs de pollution ne sont pas cumulables. L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est donc estimé comme étant, au minimum, égal au plus grand nombre d'événements attribuables à l'un des indicateurs d'exposition étudié.

3.2. Définition des périodes d'étude

Les données météorologiques sont complètes et disponibles pour les années 1999 à 2002 (sauf pour PM10 à partir de juillet 1999).

Au moment de la réalisation de l'étude, les données de mortalité ne sont disponibles que pour l'année 1999 et les données pour les admissions hospitalières pour l'année 2000.

Deux périodes d'étude sont donc définies, l'année 1999 pour l'analyse de la mortalité (hors PM10) et l'année 2000 pour l'analyse de la morbidité et l'analyse de l'impact sanitaire à long terme.

Les saisons tropicales sont définies pour l'été : du 1^{er} avril au 30 septembre de chaque année et pour l'hiver, la saison est reconstituée à partir de deux périodes : du 1^{er} janvier au 30 mars et du 1^{er} octobre au 31 décembre de chaque année.

La comparaison des paramètres météorologiques, notamment pour les facteurs intervenant dans la dispersion des polluants (vent, pluie), de la période d'étude avec les années précédentes permet de vérifier que les années retenues ne sont pas des années particulières.

Tableau 9. Comparaison des paramètres météorologiques des années 1999 et 2000 avec ceux moyennés sur la période 1947-2001

	Températures mensuelles moyennes (°C)		Nombre de jours avec précipitations (≥ 1 mm) (en jours)		Durée mensuelle moyenne de l'insolation (en heures)		Nombre de jours avec vent fort (≥ 16m/s) (en jours)	
	été	année	hiver	année	été	année	hiver	année
Année 1999	21,2	16,5	34	58	281	223	71	119
Année 2000	20,6	16,5	41	60	300	231	61	124
Année 1947- 2001	20,0	15,9	39	59	297	233	63	119

Les paramètres météorologiques des années 1999 et 2000 sont du même ordre de grandeur que ceux observés sur les 55 dernières années même si l'année 1999 a compté moins de jours avec précipitations en hiver, et un été moins ensoleillé et plus venteux.

Les années 1999 et 2000 peuvent donc être considérées comme représentatives de la situation habituelle rencontrée sur la zone d'étude.

3.3. Construction des indicateurs d'exposition

Pour chaque polluant, l'indicateur d'exposition est construit en respectant les critères suivants :

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

Les indicateurs d'exposition sont ensuite construits en calculant la moyenne arithmétique des données journalières des capteurs des stations sélectionnées.

3.3.1. Données de surveillance de la qualité de l'air

Airmarax a progressivement mis en place, à partir de 1997, des stations de mesure dans l'agglomération de Toulon.

Sur la zone d'étude retenue, six stations sont actuellement exploitées. Quatre stations urbaines mesurant la pollution de fond dans le centre urbain et deux stations suburbaines mesurant la pollution en périphérie du centre urbain.

Les caractéristiques des stations de mesure présentes sur la zone d'étude sont décrites dans les tableaux 10 et 11. Pour chacune de ces stations, des mesures régulières des polluants sont effectuées en continu et de manière automatique par les capteurs en place. Les polluants mesurés en routine depuis 1997 sont NO₂, SO₂, O₃ et, depuis juillet 1999, les PM10.

Tableau 10. Description des stations de la zone d'étude*

Station- Localisation	Type de station	Hauteur de prélèvement (m)	Polluants et date de mise en service			
			SO ₂	NO ₂	O ₃	PM10
La Valette-du-Var	Suburbaine		-	-	Juillet 99	-
Toulon Clos-Olive	Suburbaine	2	-	Juillet 97	Juillet 97	-
Toulon Chalucet	Urbaine	3	Mars 98	Juillet 97	Juillet 97	Février 00
Toulon Arsenal	Urbaine	3	Mars 98	Mars 98	Mars 98	-
Toulon Lafayette	Urbaine		-	Sept. 01	-	Sept. 01
La Seyne-sur-mer	Urbaine	3	Janvier 99	Janvier 99	Janvier 99	Avril 99

*Source : Airmarax

Tableau 11. Méthodes de mesures des différents polluants*

Polluants	Méthode de mesure
SO ₂	Fluorescence UV
NO _x	Chimiluminescence
O ₃	Photométrie UV
PM10	Microbalance à quartz

*Source : Airmarax

3.3.2. Sélection des stations de mesure

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, a priori, pour la construction des indicateurs relatifs aux trois polluants suivants : SO₂, NO₂ et PM10. Concernant l'O₃, les stations suburbaines ont également été intégrées dans la construction de l'indicateur d'exposition.

Les niveaux de polluants sont exprimés en µg/m³. Les niveaux de NO₂, de SO₂ et des PM10 considérés correspondent à des moyennes journalières. Les niveaux d'ozone correspondent à la valeur journalière maximale des valeurs des moyennes glissantes sur 8 heures. Ces données sont validées par le réseau de mesure Airmaraix et respectent la règle des 75 % concernant les valeurs manquantes [4] (nécessité de disposer au minimum de 18 mesures horaires sur 24 heures ; dans le cas contraire, la valeur journalière est laissée manquante).

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

Concernant le NO₂, trois stations sont disponibles avec des valeurs journalières bien corrélées entre elles - coefficients supérieurs à 0,83 (Annexe 4) - et des moyennes journalières variant de 30,1 µg/m³ à 42,5 µg/m³. Les trois stations seront donc utilisées dans la construction de l'indicateur d'exposition au NO₂.

Concernant l'O₃, quatre stations - deux stations urbaines et deux stations suburbaines - sont disponibles avec des valeurs journalières très fortement corrélées - coefficients supérieurs à 0,91 (Annexe 4) - et des moyennes journalières variant de 74,8 µg/m³ à 83,4 µg/m³. Les quatre stations seront donc utilisées dans la construction de l'indicateur d'exposition à l'O₃.

Concernant le SO₂, trois stations sont disponibles avec des valeurs journalières moins fortement corrélées - coefficients supérieurs à 0,71 (Annexe 4) et des moyennes journalières variant de 4,9 µg/m³ à 8,1 µg/m³. Les trois stations seront tout de même utilisées dans la construction de l'indicateur d'exposition au SO₂.

Concernant les PM10, actuellement, trois stations mesurent les PM10 sur l'agglomération de Toulon, mais seule la station de La Seyne-sur-mer, mise en service en juillet 1999, dispose de mesures disponibles pour une année entière sur l'année 2000. L'indicateur d'exposition PM10 pour une année entière n'a donc été calculé que pour l'année 2000 à partir de cette seule station.

3.4. Indicateurs sanitaires

3.4.1. Données de mortalité

Les données de mortalité ont été obtenues auprès du service CepiDC de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) par l'intermédiaire de l'InVS. L'étude concerne la mortalité toutes causes (hors morts violentes et accidentelles), la mortalité pour cause respiratoire et pour cause cardiovasculaire pour les individus domiciliés dans la zone d'étude.

3.4.2. Données de morbidité

Les informations concernant la morbidité hospitalière sont extraites du programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) à partir de la base régionale des résumés de sortie anonymisés (RSA) de la Drass PACA. Les admissions hospitalières sont donc comptabilisées, pour les périodes étudiées et les diagnostics retenus, à partir des RSA des patients hospitalisés plus de 24h et en provenance de leur domicile.

4. Résultats

4.1. Description des indicateurs de pollution

Les statistiques descriptives des indicateurs d'exposition sont présentées dans les tableaux 12 et 13.

Tableau 12. Description des indicateurs d'exposition, Toulon, 1999

	O ₃ été	NO ₂ année	NO ₂ été	NO ₂ hiver	SO ₂ année	SO ₂ été	SO ₂ hiver
Nombre de jours	183	365	183	182	365	183	182
Minimum*	57	8	8	10	0	0	0
Percentile 5*	67	16	16	16	1	1	1
Percentile 25*	85	26	26	28	3	3	4
Médiane*	96	37	34	42	6	5	8
Percentile 75*	109	48	42	58	10	7	15
Percentile 95*	134	68	53	77	21	13	27
Maximum*	156	104	71	104	39	24	39
Moyenne journalière*	98	39	34	44	8	5	10
Ecart-Type*	20,2	16,8	11,3	19,8	6,7	3,9	7,9
% Niveaux journaliers supérieurs aux objectifs de qualité	23%	41%	28%	55%	0%	0%	0%
% Valeurs manquantes	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

*en µg/m³

Tableau 13. Description des indicateurs d'exposition, Toulon, 2000

	O ₃ été	NO ₂ année	NO ₂ été	NO ₂ hiver	SO ₂ année	SO ₂ été	SO ₂ hiver	PM10 année	PM10 été	PM10 hiver
Nombre de jours	183	366	183	183	366	183	183	364	181	183
Minimum*	52	7	7	7	0	0	1	6	11	6
Percentile 5*	72	14	11	16	1	1	1	13	14	12
Percentile 25*	87	24	21	28	3	2	4	20	21	20
Médiane*	98	34	29	39	5	4	7	29	30	27
Percentile 75*	110	44	37	49	8	7	10	38	36	42
Percentile 95*	143	58	48	62	15	10	16	52	44	57
Maximum*	172	75	57	75	22	17	22	73	67	73
Moyenne journalière*	101	34	30	39	6	5	7	30	29	30
Ecart-Type*	20,7	13,7	10,7	14,5	4,2	3,0	4,7	12,3	10,1	14,1
% Niveaux journaliers supérieurs aux objectifs de qualité	25%	32%	15%	49%	0%	0%	0%	43%	45%	41%
% Valeurs manquantes	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%

*en µg/m³

Les niveaux de référence retenus pour cette étude correspondent aux objectifs de qualité pour O₃, PM10 et SO₂ et à la valeur limite pour la protection de la santé pour le NO₂. Ces niveaux de référence sont les suivants (décret 2002-213 du 15 février 2002) :

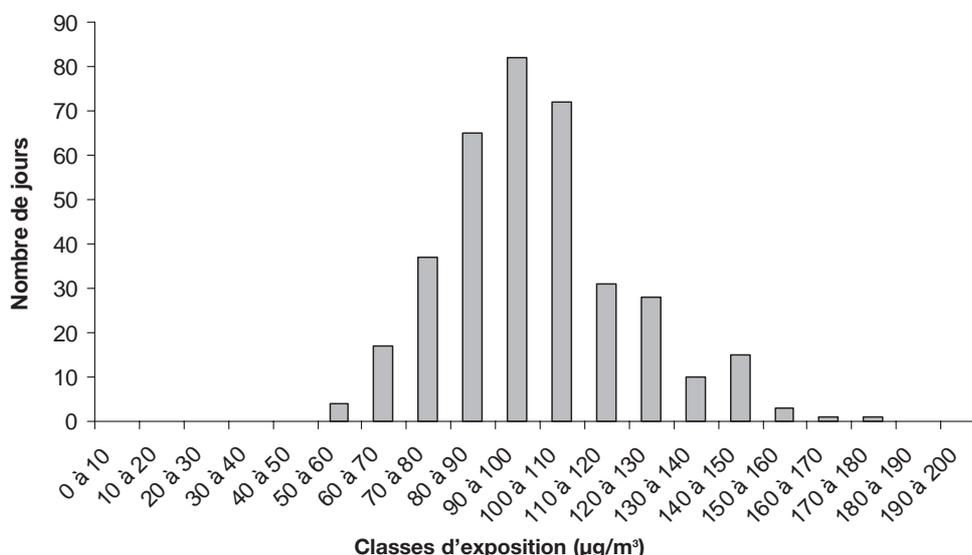
- indicateur O₃ : 110 µg/m³ sur 8 heures ;
- indicateur NO₂ : 40 µg/m³ en moyenne annuelle ;
- indicateur PM10 : 30 µg/m³ en moyenne annuelle ;
- indicateur SO₂ : 50 µg/m³ en moyenne annuelle.

Les niveaux de référence choisis sont inférieurs aux seuils de recommandations présentés ci-dessous (décret 2002-213 du 15 février 2002 pour NO₂ et SO₂ et directive européenne du 12/02/2002 pour l'O₃) :

- indicateur O₃ : 180 µg/m³ en moyenne horaire ;
- indicateur NO₂ : 200 µg/m³ en moyenne horaire ;
- indicateur SO₂ : 300 µg/m³ en moyenne horaire.

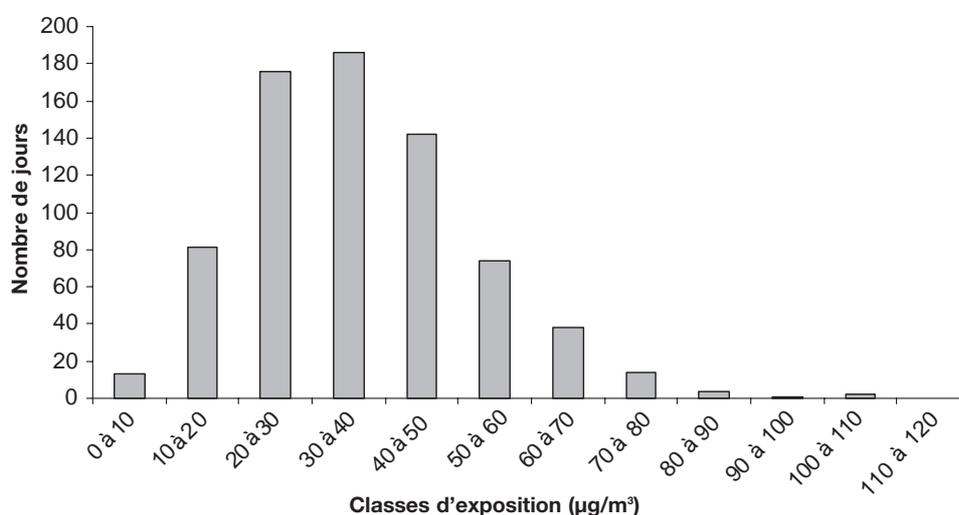
La comparaison des statistiques descriptives des indicateurs d'exposition pour SO₂, NO₂ et O₃ entre 1999 et 2000 ne montre pas de réelles différences. Les distributions de ces indicateurs par classe sont présentées sur les figures 2 à 5 pour les deux années réunies. La distribution par classe pour PM10 ne concerne que l'année 2000.

Figure 2. Distribution par classe de l'indicateur d'exposition O₃ (Toulon, 1999-2000)



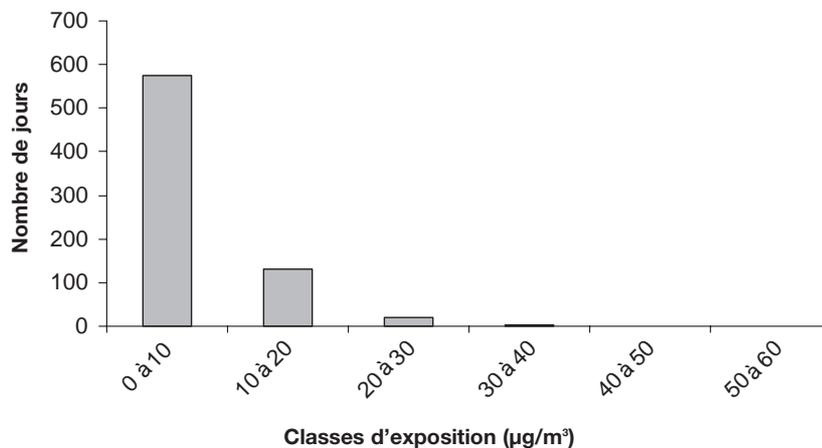
L'objectif de qualité pour l'ozone (110 µg/m³) est respecté pendant 75 % de la période.

Figure 3. Distribution par classe de l'indicateur d'exposition NO₂ (Toulon, 1999-2000)



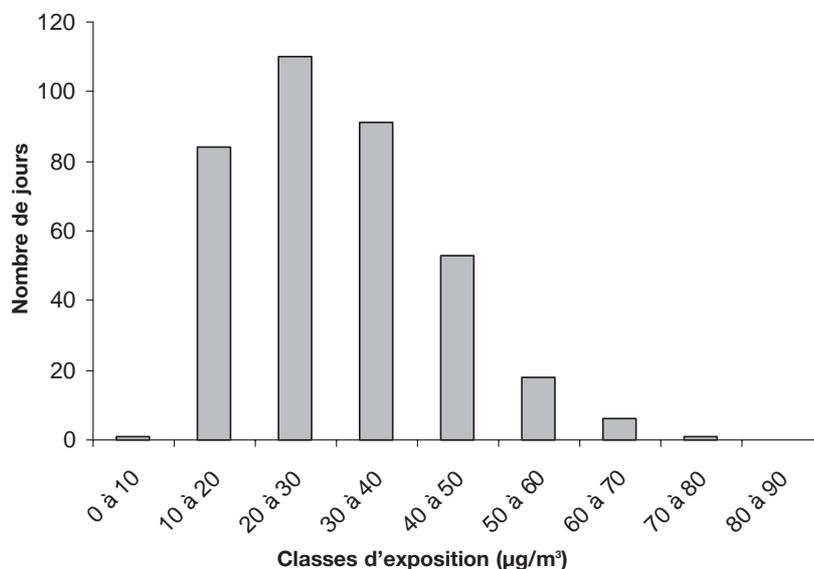
L'objectif de qualité pour le NO₂ (40 µg/m³) est respecté pendant 62 % de la période.

Figure 4. Distribution par classe de l'indicateur d'exposition SO₂ (Toulon, 1999-2000)



Les niveaux journaliers de l'indicateur d'exposition au SO₂ sont tous inférieurs à la valeur de référence (50 µg/m³) et sont si faibles que cet indicateur ne sera pas pris en compte dans les calculs d'impact sanitaire.

Figure 5. Distribution par classe de l'indicateur d'exposition PM10 (Toulon 2000)



L'objectif de qualité pour les PM10 (30 µg/m³) est respecté pendant 53 % de la période.

4.2. Indicateurs sanitaires

• Mortalité

Les effectifs de mortalité toutes causes (hors morts violentes et accidentelles), de mortalité cardio-vasculaire et de mortalité respiratoire sont présentés dans le tableau 14.

Tableau 14. Nombre annuel total de décès et moyennes journalières arrondies, Toulon, 1999

Année 1999	Nombre total de décès			Moyenne journalière		
	été	hiver	année	été	hiver	année
Mortalité toutes causes	1 315	1 601	2 916	7,2	8,7	8,0
Mortalité respiratoire	97	164	261	0,5	0,9	0,7
Mortalité cardio-vasculaire	369	505	874	2,0	2,7	2,4

- **Morbidité**

L'ensemble des établissements de soins publics ou privés de la zone d'étude qui participent au PMSI a été retenu soit 5 centres hospitaliers, 3 cliniques privées et 2 polycliniques (liste en Annexe 2).

Tableau 15. Nombre d'admissions hospitalières, Toulon, 2000

	Motifs respiratoires		Motifs cardio-vasculaires	Motifs cardiaques	
	15-64 ans	≥ 65 ans	Tous âges	< 65 ans	≥ 65 ans
	Année 2000	594	900	4 661	793
Eté 2000	284	315	2 160	388	1 072
Hiver 2000	310	585	2 501	405	1 191

4.3. Caractérisation du risque à court terme

Pour l'année considérée, l'impact sanitaire est calculé pour chaque indicateur de pollution atmosphérique par rapport à une exposition à un niveau faible de pollution.

Les nombres de cas attribuables calculés pour chaque indicateur d'exposition ne sont pas cumulables et le nombre réel de cas attribuables est au moins égal à la valeur maximale observée parmi les différentes estimations. Les résultats présentés indiquent donc le nombre de cas attribuables le plus élevé pour chaque indicateur sanitaire parmi ceux calculés pour l'ensemble des polluants étudiés.

Seuls les résultats significatifs sont présentés par leur estimation centrale et l'intervalle de confiance à 95 %. Les résultats obtenus pour chaque polluant sont présentés en Annexe 5.

4.3.1. Estimation de l'impact sanitaire total

Les niveaux de référence choisis pour cette estimation globale [5] correspondent à des niveaux faibles de pollution, inférieurs au percentile 5 (tableaux 12 et 13), ils sont de 40 µg/m³ pour l'ozone et de 10 µg/m³ pour les autres indicateurs de pollution.

- **Sur la mortalité anticipée**

Le nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique pour l'année 1999 est représenté dans le tableau 16.

L'indicateur d'exposition NO₂ est l'indicateur qui a le plus d'impact sur la mortalité anticipée.

Tableau 16. Nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique en fonction de l'indicateur sanitaire étudié, Toulon, 1999

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre de décès attribuables
Mortalité toutes causes	84,1 [58,6 – 109,8]
Mortalité respiratoire	9,5 [3,6 – 15,6]
Mortalité cardiovasculaire	30,2 [12,4 – 45,7]

Ainsi, sur la zone étudiée, le nombre total de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique sur l'année 1999 s'élève à 84,1 décès [58,6 – 109,8] dont 30,2 décès [12,4 – 45,7] par mortalité cardiovasculaire et 9,5 décès [3,6 – 15,6] par mortalité respiratoire.

- **Sur la morbidité hospitalière**

Pour les admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires, le calcul est effectué sur l'ensemble de la population tous âges confondus. Pour les admissions pour motifs respiratoires, le calcul est effectué pour deux tranches d'âge : 15-64 ans et 65 ans et plus. Enfin, pour les admissions pour motifs cardiaques, le calcul est effectué pour l'ensemble de la population et ensuite différencié pour la tranche d'âge des 65 ans et plus.

Tableau 17. Nombre d'hospitalisations attribuables à la pollution atmosphérique en fonction de la pathologie étudiée, Toulon, 2000

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre de cas attribuables
Morbidité respiratoire	
- 65 ans et plus	16,2 [10,8 – 23,5]
Morbidité cardiovasculaire	72,9 [43,5 – 102,6]
Morbidité cardiaque	
- tous âges	30,7 [12,3 – 49,3]
- 65 ans et plus	31,8 [18,1 – 45,5]

Pour l'année 2000, l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est de 73 admissions [43,5 – 102,6] pour pathologies cardiovasculaires et 16 admissions [10,8 – 23,5] pour pathologies respiratoires chez les personnes de 65 ans et plus (le nombre de cas attribuables pour la morbidité respiratoire chez les 15-64 ans n'est pas significatif).

Les admissions hospitalières pour motif cardiaque attribuables à la pollution atmosphérique représentent, 30,7 admissions [12,3 – 49,3]. Ces chiffres sont du même ordre de grandeur que le nombre d'admissions hospitalières calculées pour les personnes âgées de 65 ans et plus (31,8 [18,1 – 45,5]) s'expliquant par le fait que le risque relatif correspondant est plus important pour cette tranche d'âge (cf. tableau 7).

4.3.2. Impact sanitaire par niveaux de pollution

La répartition de l'impact sanitaire en fonction de chaque niveau d'exposition peut être représentée sous forme graphique.

Quelque soit le couple indicateur d'exposition/indicateur sanitaire observé, 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. Ces résultats sont illustrés par deux exemples sur les figures 6 et 7.

Figure 6. Répartition en pourcentage des niveaux d'exposition journaliers au NO₂ et des décès toutes causes associés en fonction des classes d'exposition, Toulon, 1999

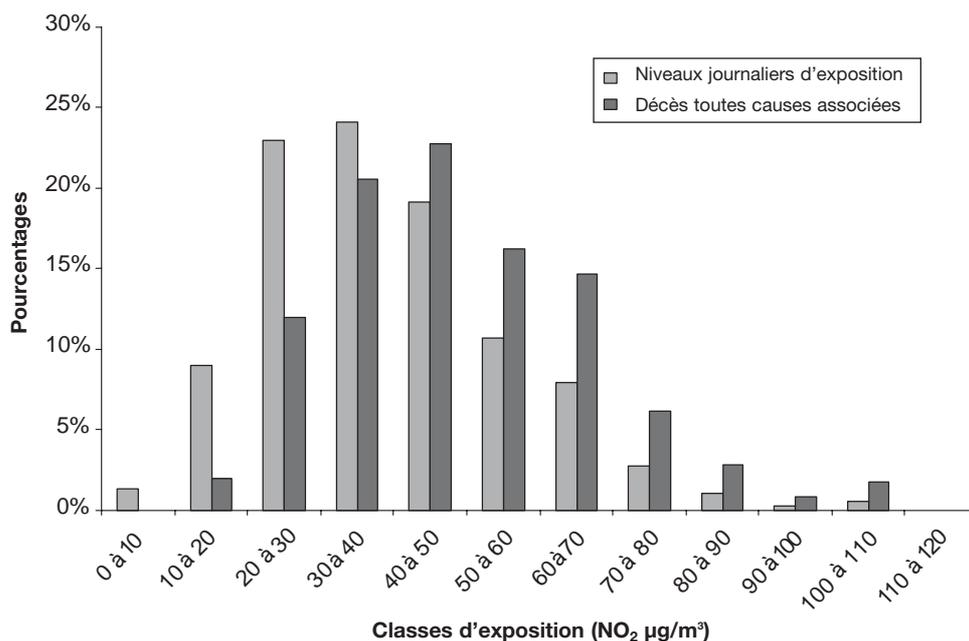
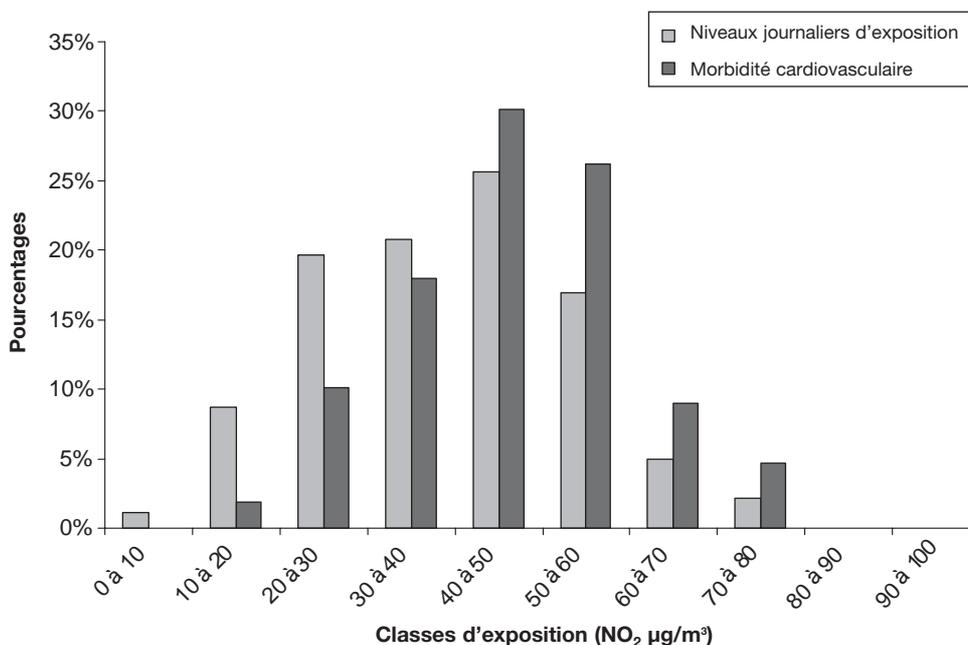


Figure 7. Répartition en pourcentage des niveaux d'exposition journaliers au NO₂ et des admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires associées en fonction des classes d'exposition, Toulon, 2000



4.3.3. Calcul des gains sanitaires liés à une baisse de la pollution atmosphérique

Les gains sanitaires sont calculés pour deux scénarios différents :

Scénario 1 : gain sanitaire potentiellement lié à la diminution des niveaux dépassant les objectifs de qualité pour chaque polluant :

- indicateur O₃ : le niveau de référence est de 110 µg/m³ sur 8 heures ;
- indicateur NO₂ : le niveau de référence est de 40 µg/m³ en moyenne annuelle ;
- indicateur PM10 : le niveau de référence est de 30 µg/m³ en moyenne annuelle.

Scénario 2 : gain sanitaire potentiellement lié à la diminution de x % de la moyenne annuelle pour chaque polluant : le niveau de référence choisi est une diminution de 25 % pour chaque polluant.

- Gains sanitaires pour la mortalité anticipée

Tableau 18. Nombre de décès évitables suivant les scénarios de réduction de la pollution, Toulon, 1999

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre de décès évitables	
	Année 1999	
Mortalité toutes causes	- Scénario 1	18,5 [12,9 – 24,1]
	- Scénario 2	27,7 [19,4 – 36,0]
Mortalité respiratoire	- Scénario 1	2,1 [0,8 – 3,4]
	- Scénario 2	3,1 [1,2 – 5,0]
Mortalité cardiovasculaire	- Scénario 1	6,7 [2,8 – 10,1]
	- Scénario 2	9,9 [4,1 – 14,9]

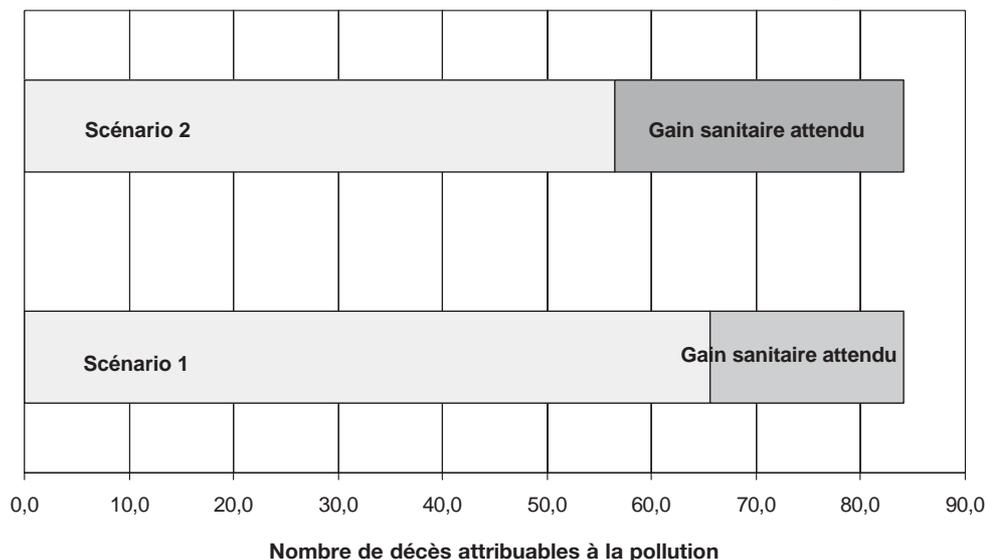
Quelque soit l'indicateur de mortalité observé, le gain sanitaire potentiellement obtenu par le scénario 2 est toujours supérieur au gain sanitaire obtenu par le scénario 1.

Ainsi, l'application du scénario 2 à la pollution au NO₂ montre un gain sanitaire sur la mortalité toutes causes de l'ordre de 30 %, avec un nombre de décès anticipés potentiellement évitables égal à 28 décès [19,4 – 36,0] comparé à 19 décès [12,9 – 24,1] avec le scénario 1.

Pour les mortalités respiratoire et cardio-vasculaire anticipées, les gains sanitaires potentiellement obtenus avec le scénario 1 sont de 22 % alors qu'ils sont égaux à 32 % avec le scénario 2.

Le gain sanitaire attendu, correspondant au nombre de cas de décès anticipés potentiellement évitables par la mise en place des scénarios 1 ou 2 peut être représenté sous forme graphique pour chaque scénario comme l'illustre la figure 8.

Figure 8. Gains sanitaires attendus concernant la mortalité toutes causes anticipée, Toulon, 1999



• Gains sanitaires pour la morbidité

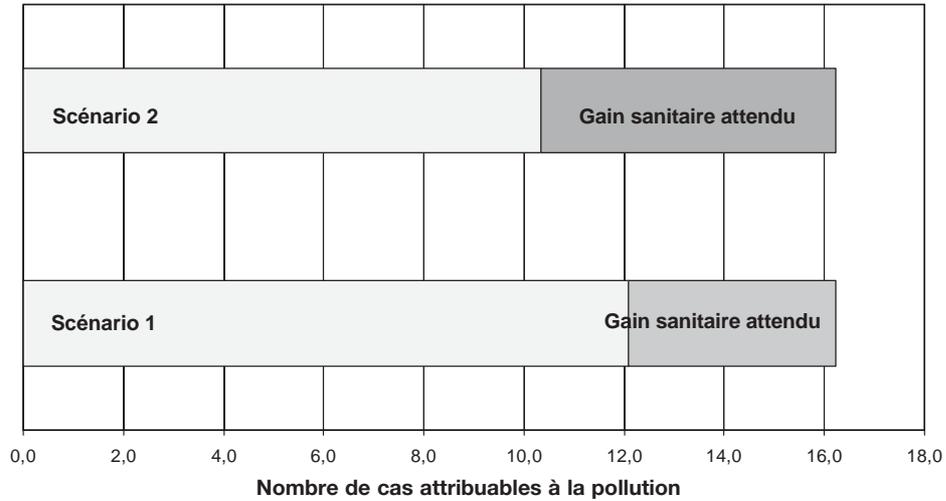
Là encore, les gains sanitaires calculés pour les différents indicateurs de morbidité sont plus importants lorsqu'on applique le scénario 2 de réduction de la pollution atmosphérique, les résultats sont présentés pour chaque indicateur sanitaire dans le tableau 19.

Tableau 19. Nombre d'admissions hospitalières potentiellement évitables (toutes choses égales par ailleurs) suivant les scénarios de réduction de la pollution, Toulon, 2000

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre de cas évitables	
	Année 2000	
Morbidité respiratoire 65 ans et plus		
- Scénario 1	4,1	[2,8 – 5,6]
- Scénario 2	5,9	[3,9 – 8,5]
Morbidité cardiovasculaire		
- Scénario 1	14,4	[8,6 – 20,2]
- Scénario 2	23,9	[14,4 – 33,5]
Morbidité cardiaque		
Tous âges : - Scénario 1	7,8	[3,1 – 12,5]
- Scénario 2	11,2	[4,5 – 11,6]
65 ans et plus : - Scénario 1	8,1	[4,6 – 11,6]
- Scénario 2	11,6	[6,6 – 16,5]

L'efficacité des scénarios est illustrée sous forme graphique (figures 9 à 11).

Figure 9. Gains sanitaires attendus concernant la morbidité respiratoire chez les sujets âgés de 65 ans et plus, Toulon, 2000



Si l'application du scénario 1 ne permet qu'un gain sanitaire de l'ordre de 25 %, le gain sanitaire obtenu en appliquant le deuxième scénario est de l'ordre de 36 % avec 6 admissions hospitalières pour cause respiratoire de personnes de plus de 65 ans évitables sur les 16 admissions imputables à la pollution atmosphérique.

Figure 10. Gains sanitaires attendus concernant la morbidité cardio-vasculaire, Toulon, 2000

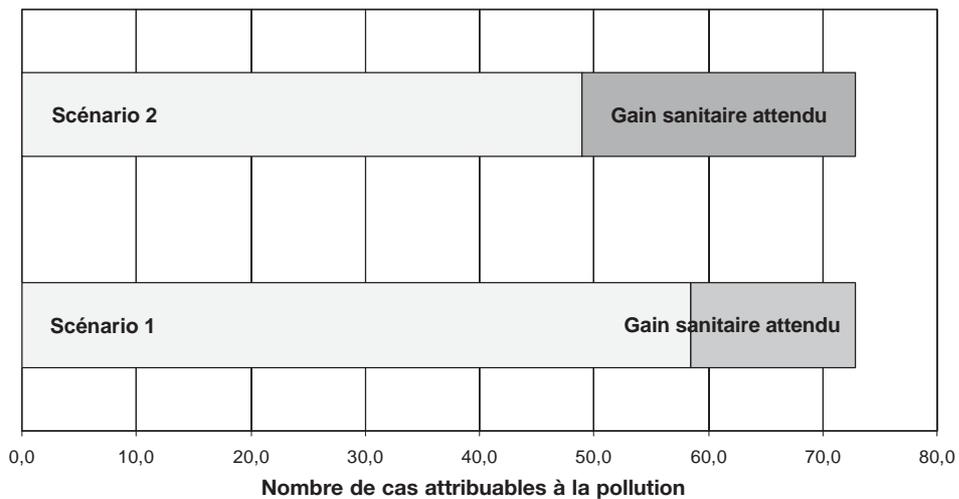
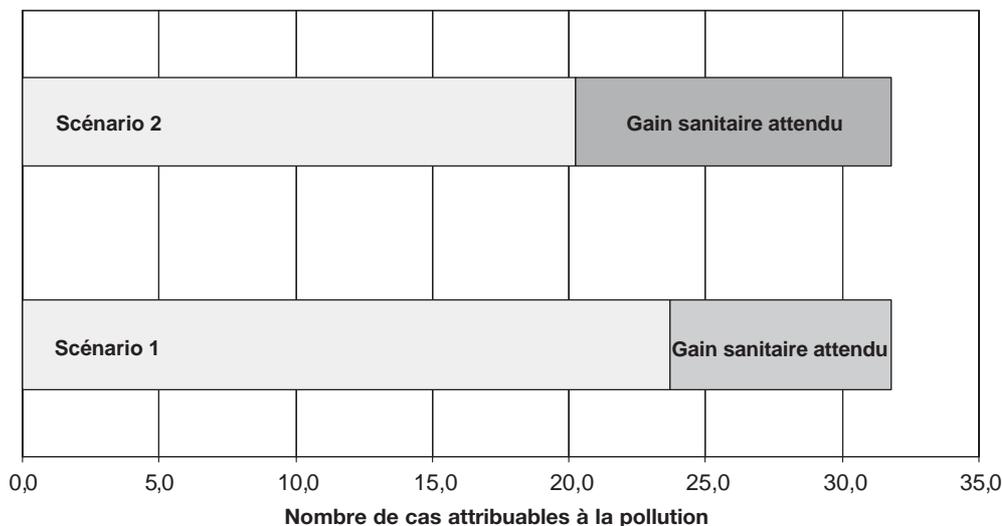


Figure 11. Gains sanitaires attendus concernant la morbidité cardiaque chez les sujets âgés de 65 ans et plus, Toulon, 2000



4.4. Caractérisation du risque à long terme

Les niveaux de référence choisis pour les différents scénarios de l'EIS long terme sont les suivants :

Scénario 1 : gain sanitaire lié à la diminution de la moyenne annuelle des PM10 au niveau de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valeur limite européenne pour la protection pour la santé prévue en 2005.

Scénario 2 : gain sanitaire lié à la diminution de la moyenne annuelle des PM10 au niveau de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valeur limite européenne pour la protection pour la santé prévue en 2010.

Scénario 3 : gain sanitaire lié à la diminution de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la moyenne annuelle des PM10.

Scénario 4 : gain sanitaire lié à la diminution de 25 % de la moyenne annuelle des PM10.

Les résultats obtenus après simulation de ces scénarios sont présentés dans le tableau 20.

Tableau 20. Nombre de décès toutes causes attribuables à la pollution atmosphérique pour les quatre scénarios de l'EIS long terme

	Nombre de décès		
	Pour la période IC 95%		
Scénario 1 : gain sanitaire lié à la diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne 2005 de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,00	0,00	0,00
Scénario 2 : gain sanitaire lié à la diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne 2010 de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	117,92	71,31	167,26
Scénario 3 : gain sanitaire lié à la diminution de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la moyenne annuelle	60,66	36,83	85,68
Scénario 4 : gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux de 25 %	84,50	51,20	119,61

Le gain sanitaire obtenu avec le premier scénario est nul puisque la moyenne annuelle observée sur les données de l'année 2000, égale à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, est inférieure au seuil de la norme européenne applicable en 2005 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Le scénario 2 qui consiste à diminuer la moyenne annuelle d'exposition aux PM10 à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondant à la valeur limite européenne pour la protection de la santé prévue en 2010, permettrait un gain sanitaire à long terme de l'ordre de 118 décès évitables [71,3 – 167,3]. Le scénario 3, qui consiste à diminuer la moyenne actuelle de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, permettant d'atteindre un moyenne annuelle de l'ordre de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, permettrait un gain sanitaire égal à 60,7 décès évitables [36,8 – 85,7] soit moitié moins que le scénario précédent. Enfin, une diminution de 25 % de la moyenne actuelle qui permettrait d'atteindre une moyenne annuelle de l'ordre de $22,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, représente un scénario intermédiaire qui permettrait un gain sanitaire de 84,5 décès évitables [51,2 – 119,6].

5. Discussion

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

Les résultats de cette étude doivent être interprétés en tenant compte des hypothèses, limites et incertitudes liées à la démarche d'une EIS qui entraînent le plus souvent une sous-estimation de l'impact sanitaire global.

5.1. Hypothèses, limites et incertitudes

L'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine sur la zone d'étude définie autour de la commune de Toulon a été menée en suivant la méthodologie proposée par le guide de l'InVS [4], actualisé en mars 2003 [5]. Les quatre étapes de la démarche décrite dans le guide ont été réalisées : identification des dangers, choix des relations exposition/risque, estimation de l'exposition et caractérisation du risque.

5.1.1. Identification des dangers

Cette première étape présente des limites qui sont à l'origine d'une sous-estimation de l'impact sanitaire global de la pollution atmosphérique :

- L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique en terme de morbidité ne prend en compte que les effets ayant nécessité une hospitalisation. Les effets respiratoires traités en ambulatoire ne sont pas pris en compte alors qu'ils représentent une fraction importante de la morbidité respiratoire.
- Les polluants retenus pour estimer l'exposition ne représentent qu'une fraction des substances chimiques responsables de la pollution atmosphérique.
- La pollution de l'air à l'intérieur des locaux n'est pas prise en compte pour estimer l'exposition de la population, seule est étudiée la pollution atmosphérique extérieure de fond.

5.1.2. Relations exposition/risque

La démarche d'une EIS implique de conserver, à chaque étape, la plus grande adéquation entre les caractéristiques de l'EIS et celles des études épidémiologiques ayant produit les fonctions exposition/risque.

Les courbes exposition/risque fondées sur des observations épidémiologiques à des faibles niveaux d'exposition ont été obtenues à partir d'une zone géographique différente de notre zone d'étude qui peut être soumise à une pollution atmosphérique différente. Cependant, l'utilisation des courbes exposition/risque obtenues lors des dernières études européenne (Apha2) et française (PSAS-9) pour l'estimation des impacts à court terme limite cet inconvénient. En effet, ces études ont notamment montré la cohérence des relations exposition/risque sur la mortalité et les admissions pour motif respiratoire [9,10] et ce, quelles que soient les caractéristiques locales.

Les incertitudes liées à l'utilisation des fonctions exposition/risque pour la mortalité totale à long terme sont plus importantes. En effet, ces fonctions ont été établies dans des populations américaines potentiellement différentes des populations étudiées ici en terme de causes de mortalité, d'exposition et de caractéristiques sociodémographiques.

5.1.3. Estimation de l'exposition

L'exposition est estimée pour la population entière séjournant dans la zone d'étude retenue et non sur un plan individuel. En effet, un même niveau d'exposition est attribué à chaque individu de cette

population alors que les individus sont exposés, au cours d'une même journée, à des niveaux de pollution variables.

Suite aux déplacements personnels ou professionnels, une partie de la population peut s'absenter de la zone d'étude. De même, la zone d'étude retenue peut être une zone attractive importante pour une population ne résidant pas dans la zone d'étude définie.

Il apparaît donc que les incertitudes liées aux mouvements de population peuvent conduire selon les cas à sur-estimer ou sous-estimer l'impact sanitaire.

En outre, 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. De ce fait, une implantation différente des capteurs aurait pu conduire à des estimations de niveaux d'exposition différentes. Néanmoins, l'analyse des données enregistrées permet de penser que l'indicateur d'exposition construit est bien représentatif de l'exposition moyenne de la population.

5.1.4. Caractérisation du risque

La caractérisation du risque s'appuie sur la mise en relation des indicateurs d'exposition avec les indicateurs sanitaires disponibles.

Le nombre d'admissions hospitalières peut être sous ou sur-estimé du fait d'erreurs de diagnostic et/ou de codage potentielles, mais ce biais est partiellement contrôlé par le regroupement de ces admissions hospitalières en grandes catégories.

De plus, le dénombrement, réalisé à partir des bases de données PMSI de la Drass PACA, n'a pas permis de comptabiliser les admissions dans les centres de santé qui ne participent pas au PMSI. Ainsi, pour cette étude, les admissions hospitalières à l'Hôpital d'instructions des armées Sainte Anne n'ont pas été prises en compte, conduisant à sous-estimer l'impact sanitaire en terme de morbidité.

La non prise en compte dans le PMSI des séjours dans les services d'urgences conduit également à sous estimer le nombre d'évènements de santé et donc l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique.

Concernant la caractérisation du risque à long terme, le résultat présenté dans cette étude devra être confirmé par la suite en utilisant un indicateur d'exposition aux PM10 et des indicateurs de mortalité calculés sur la même période, ce qui n'a pas été possible dans cette étude.

5.2. Interprétation des résultats

Compte tenu des incertitudes et limites présentées ci-dessus, les résultats doivent être interprétés comme des ordres de grandeur de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé de la population de la zone d'étude définie. Il s'agit d'une estimation basée sur les acquis scientifiques actuels et les données locales disponibles.

Le calcul d'un risque attribuable à un facteur de risque nécessite que la relation entre l'exposition au facteur de risque et la maladie soit de nature causale. La confrontation des nombreux résultats épidémiologiques aux critères de causalité habituellement retenus a permis de conclure que la pollution atmosphérique constitue bien un facteur de risque pour la santé de nature causale.

Dans la mesure où la population est exposée à un ensemble de polluants pour lesquels aucun indicateur n'est totalement spécifique, les impacts estimés par indicateur de pollution ne s'additionnent pas. Ainsi, si les polluants ont une toxicité propre, leur niveau est avant tout un indicateur d'un mélange chimique complexe. La notion de risque attribuable doit donc s'entendre comme étant une estimation du risque associé à la pollution atmosphérique urbaine, facteur de risque supposé causal, approché indirectement par les indicateurs de pollution. Une action visant à réduire le niveau d'un indicateur sans réduction de la pollution globale ne produirait donc pas les effets positifs escomptés. Une politique de réduction des risques ne peut être envisagée qu'au travers d'une approche globale (réduction des émissions liées à l'ensemble des sources), la pollution atmosphérique dans son ensemble constituant le facteur de risque à maîtriser.

L'estimation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique à court terme se traduit par un nombre de décès anticipés attribuables à un différentiel de pollution donné au cours d'une année. Le nombre de décès anticipés calculé ne s'interprète pas comme un excès absolu de mortalité, mais comme une estimation du nombre d'individus qui ont vu, au cours de l'année étudiée, leur espérance de vie réduite d'une durée correspondant à cette anticipation.

6. Conclusion

6.1. Un impact collectif à court terme sur la mortalité non négligeable

Sur une année, l'impact global de la pollution atmosphérique pour la zone d'étude définie autour de Toulon est estimé à 84 décès anticipés (dont 30 décès suite à une pathologie cardio-vasculaire et 10 décès suite à une pathologie respiratoire).

Ces résultats montrent que même si les risques relatifs associés à la pollution atmosphérique sont faibles, la proportion importante de personnes exposées aboutit à un impact collectif sur la mortalité non négligeable.

6.2. Un impact sanitaire à long terme mesurable

Cette étude a permis pour la première fois en région PACA d'estimer le nombre de décès attribuables à la pollution atmosphérique potentiellement évitables à long terme selon différents scénarios de réduction de la pollution atmosphérique.

La norme européenne prévue pour 2005 est d'ores et déjà respectée sur la zone d'étude, le respect de la norme européenne prévue en 2010 devrait permettre d'éviter 118 décès sur la totalité des décès enregistrés sur une année. Il faut aussi noter que même une faible diminution de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la moyenne des PM10 permettrait un gain sanitaire potentiel de 60 décès chaque année.

6.3. Recommandations

Les épisodes de pollution atmosphérique dépassant les seuils réglementaires de recommandations et d'alerte monopolisent souvent l'attention et sont perçus comme des situations « d'alerte sanitaire ». Cette étude montre que les effets sanitaires apparaissent déjà à des niveaux de pollution bien inférieurs à ceux pour lesquels les mesures sont prises actuellement. Ainsi, une réduction du niveau annuel moyen de pollution de 25 % s'accompagnerait d'une réduction de 30 % des effets sanitaires dus à la pollution atmosphérique.

Les actions les plus efficaces seront donc celles qui associeront une réduction des émissions à la source de façon quotidienne à une diminution importante du nombre de pics annuels de pollution.

6.4. Des résultats à enrichir et à communiquer

Les résultats présentés dans cette étude pourront être rapidement actualisés en fonction de la disponibilité de données sanitaires plus récentes. De plus, cette étude peut être considérée comme un état des lieux qui permettra de mesurer l'impact sanitaire de la mise en place du PDU dans l'agglomération toulonnaise.

L'estimation de l'impact sanitaire à long terme devra également être revue dès que des fonctions exposition/risque nationales ou européennes auront pu être élaborées, de manière à limiter les incertitudes liées notamment aux différences entre les populations américaines et les populations étudiées.

La comparaison des résultats de cette étude aux autres EIS réalisées en PACA est difficile puisque cette étude a utilisé le plus souvent de nouvelles fonctions exposition/risque. De plus, cette étude a intégré pour la première fois les données sanitaires des cliniques privées participants au PMSI entraînant des estimations de nombre de cas attribuables plus élevées.

La communication des résultats de cette étude aux décideurs, aux médias et au public devrait permettre une meilleure sensibilisation aux dangers de la pollution atmosphérique respirée quotidiennement par l'ensemble de la population, de relativiser les effets sanitaires des pics de pollution et enfin de construire une politique de réduction de la pollution atmosphérique plus efficace en terme d'impact sur la santé publique.

7. Bibliographie

- [1] Plan régional pour la qualité de l'air de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur - Mai 2000.
- [2] Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur la zone d'Aix-en-Provence, Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud - Février 2001.
- [3] Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Martigues, Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud - Février 2001.
- [4] Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine - Guide méthodologique, Institut de veille sanitaire- Juillet 1999.
- [5] Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine - Actualisation du guide méthodologique : recommandations provisoires pour les évaluations de l'impact sanitaire court terme et long terme, Institut de veille sanitaire - Mars 2003.
- [6] Base de données communes - Profil : recensement général de la population 1999- Institut national de la statistique et des études économiques.
- [7] Attractivité géographique des établissements de santé de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Provence-Alpes-Côte d'Azur Février 1999.
- [8] Plan de déplacements urbains de l'agglomération toulonnaise, compte rendu de séance du comité technique 2 - Octobre 1999.
- [9] Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopolis Y, Rossi G, Zmirou D, Ballester F, Boumghar A, Anderson HR, Wojtyniak B, Paldy A, Braunstein R, Pekkanen J, Schindler C, Schwartz J. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the Apeha2 project. *Epidemiology*. 2001 Sep;12(5):521-31.
- [10] Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain- PSAS-9 phase II. Institut de veille sanitaire - Juin 2002.
- [11] Spix C, Anderson HR, Schwartz J, Vigotti MA, LeTertre A, Vonk JM, TouloumiG, Balducci F, Piekarski T, Bacharova L, Tobias A, Ponka A, Katsouyanni K. Short-term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of Apeha study results. Air pollution and health: a European approach. *Arch Environ Health*, 1998 Jan-Feb;53(1):54-64.
- [12] Atkinson RW, Anderson HR, Sunyer J, Ayres J, Baccini M, Vonk JM, Boumghar A, Forastiere F, Forsberg B, Touloumi G, Schwartz J, Katsouyanni K. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions : results from Apeha 2 project. Air pollution and health: a European approach. *Am J Respir Crit Care Med*, 2001 Nov 15;164(10 Pt 1):1860-6.
- [13] Le Tertre A, Medina S, Samoli E, Forsberg B, Michelozzi P, Boumghar A, Vonk JM, Bellini A, Atkinson R, Ayres JG, Sunyer J, Schwartz J, Katsouyanni K. Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities. *J Epidemiol Community Health*, 2002 Oct;56(10):773-9.
- [14] Künstli N., Kaiser R., Medina S. et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 2000; 356:795-801.

8. Annexes

Annexe 1

Navettes domicile-travail*, 1999

Commune de provenance	Lieu de résidence - Lieu de travail		
	Total déplacements	Déplacements dans la même commune	Déplacements dans la zone d'étude
Toulon	50 466	35 769 (71 %)	41 637 (82 %)
La Garde	8 299	2 607 (31 %)	6 404 (77 %)
La Seyne-sur-mer	18 281	8 243 (45 %)	13 580 (74 %)
La Valette-du-Var	8 178	3 064 (37 %)	6 696 (82 %)
TOTAL	89 099	-	68 317 (77 %)

*Source Insee

Annexe 2

Attractivité hospitalière*, 1999

	Pôle hospitalier de Toulon-La Seyne-Ollioules	Pôle hospitalier de Marseille	Pôle hospitalier de Hyères
Toulon	81 %	13 %	2 %
La Garde	67 %	9 %	10 %
La Seyne-sur-mer	87 %	10 %	1 %
La Valette-du-Var	67 %	11 %	4 %

*Source Drass PACA

Liste des établissements de soins inclus dans l'étude*

N°Finess	Raison sociale	Localisation	Caractéristiques
830003851	CHI Toulon La Seyne	Toulon	Centre hospitalier
830000345	Hôpital Font Pré	Toulon	Centre hospitalier
830202735	Hôpital Chalucet	Toulon	Centre hospitalier
830202743	Hôpital Clémenceau	La Garde	Centre hospitalier
830100608	CH Georges Sand	La Seyne-sur-mer	Centre hospitalier
830100475	Clinique Saint Roch	Toulon	Soins courte durée
830100426	Clinique Notre Dame de la Paix	Toulon	Soins courte durée
830100251	Clinique du Cap d'or	La Seyne-sur-mer	Soins courte durée
830100319	Polyclinique Les Fleurs	Ollioules	Soins pluridisciplinaires
830200523	Polyclinique Mutualiste	Ollioules	Soins pluridisciplinaires

* Source : Base Finess (<http://finess.sante.gouv.fr/finess/index.html>)

Annexe 3

Distribution de l'indicateur d'exposition O₃ en µg/m³ par station, Toulon, 1999-2000

	La Seyne-sur-mer	La Valette-du-Var	Toulon Arsenal	Toulon Clos-Olive
Moyenne	79,9	80,7	74,8	83,4
Médiane	81	79	73	83
Ecart type	31,6	32,2	32,6	29,8
Centile 5	30	33	24	39
Centile 25	56	56	51	60
Centile 75	101	102	97	103
Centile 90	119	124	116	122
Centile 95	132	137	128	135
Minimum	1	3	3	13
Maximum	194	186	194	189
% Valeurs manquantes	2	18	1	0,3

Distribution de l'indicateur d'exposition NO₂ en µg/m³ par station, Toulon, 1999-2000

	La Seyne-sur-mer	Toulon Arsenal	Toulon Chalucet
Moyenne	30,1	36,7	42,5
Médiane	28	34	41
Ecart type	14,5	17,0	16,4
Centile 5	10	14	18
Centile 25	19	24	32
Centile 75	39	47	52
Centile 90	51	60	64
Centile 95	58	69	72
Minimum	2	5	6
Maximum	95	126	113
% Valeurs manquantes	3,7	2,9	1,6

Distribution de l'indicateur d'exposition SO₂ en µg/m³ par station, Toulon, 1999-2000

	La Seyne-sur-mer	Toulon Arsenal	Toulon Chalucet
Moyenne	4,9	8,1	5,8
Médiane	4	6	5
Ecart type	4,5	7,5	4,8
Centile 5	0	1	0
Centile 25	2	3	3
Centile 75	7	11	8
Centile 90	11	17	12
Centile 95	14	24	15
Minimum	0	0	0
Maximum	37	53	36
% Valeurs manquantes	2,2	2,6	0,5

Distribution de l'indicateur d'exposition PM10 en µg/m³, Toulon, 2000

	La Seyne-sur-mer
Moyenne	30
Médiane	29
Ecart-Type	12,3
Centile 5	13
Centile 25	20
Centile 75	38
Centile 90	45
Centile 95	52
Minimum	6
Maximum	73
% Valeurs manquantes	0

Annexe 4

Coefficients de corrélation entre les stations de mesure, Toulon, 1999-2000

NO ₂	La Seyne-sur-mer	Toulon Arsenal	Toulon Chalucet
La Seyne-sur-mer	1	0,83	0,83
Toulon Arsenal	0,83	1	0,92
Toulon Chalucet	0,83	0,92	1

O ₃	La Seyne-sur-mer	La Valette-du-Var	Toulon Arsenal	Toulon Clos-Olive
La Seyne-sur-mer	1	0,91	0,91	0,93
La Valette-du-Var	0,91	1	0,94	0,96
Toulon Arsenal	0,91	0,94	1	0,94
Toulon Clos-Olive	0,93	0,96	0,94	1

SO ₂	La Seyne-sur-mer	Toulon Arsenal	Toulon Chalucet
La Seyne-sur-mer	1	0,71	0,74
Toulon Arsenal	0,71	1	0,76
Toulon Chalucet	0,74	0,76	1

Annexe 5

Nombre de décès anticipés par polluant pour chaque indicateur sanitaire et chaque saison étudiés, Toulon, 1999

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre de cas attribuables
Mortalité toutes causes	
O ₃ été	52,6 [22,3 – 75,7]
NO ₂ année	84,1 [58,6 – 109,8]
Mortalité respiratoire	
O ₃ été	6,2 [3,0 – 9,9]
NO ₂ année	9,5 [3,6 – 15,6]
Mortalité cardiovasculaire	
O ₃ été	22,7 [8,1 – 37,8]
NO ₂ année	30,2 [12,4 – 45,7]

Nombre d'admissions hospitalières par polluant pour chaque pathologie et chaque saison étudiée, Toulon, 2000

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre de cas attribuables
Morbidité respiratoire 15-64 ans	
O ₃ été	6,8 [0 – 17,3]
NO ₂ année	2,9 [0 – 10,3]
Morbidité respiratoire 65 ans et plus	
O ₃ été	14,9 [7,4 – 26,5]
NO ₂ année	8,8 [0 – 26,7]
PM10 année	16,2 [10,8 – 23,5]
Morbidité cardiovasculaire	
NO ₂ hiver	72,9 [43,5 – 102,6]
NO ₂ été	50,4 [29,3 – 71,7]
SO ₂ hiver	3,5 [1,6 – 5,3]
Morbidité cardiaque tous âges	
PM10 année	30,7 [12,3 – 49,3]
Morbidité cardiaque 65 ans et plus	
PM10 année	31,8 [18,1 – 45,5]

Notes