

# Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine

Agglomération de Lyon  
Impact à court et long terme



Cette étude a été réalisée par :

Marine Giard – Interne en Santé Publique

Jean-François Jusot – Médecin épidémiologiste

Cellule interrégionale d'épidémiologie de Rhône-Alpes

## **Ont participé à la réalisation de cette étude :**

Cellule interrégionale d'épidémiologie de Rhône-Alpes

Evelyne Fournier

Comité de Coordination pour la Contrôle de la pollution Atmosphérique dans la Région Lyonnaise

Frédéric Bouvier

Direction départementale des affaires sanitaires et sociales du Rhône

Service santé environnement

Valérie Formisyn

Romain Habeau

Agence d'urbanisme, Lyon

Patrick Brun

Biravong Tanovan

Météo France, Bron

## **Remerciements à :**

Myriam Blanchard

Pour sa lecture attentive

Laurence Pascal

Pour ses conseils et sa disponibilité

Photographie couverture Copyright J.Leone - Grand Lyon



## Résumé

L'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération lyonnaise s'inscrit dans le cadre de l'élaboration du Plan de Protection de l'atmosphère de la ville de Lyon, lancé en 2003. Celui-ci fait suite à l'achèvement du plan régional pour la qualité de l'air 2001-2005. Ce dernier fixe les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique, en s'appuyant notamment sur une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé des populations.

Dans cette étude, l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique est calculé en terme de mortalité anticipée et de morbidité (admissions hospitalières) attribuables à la pollution atmosphérique. 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 compte tenu de critères définis. Elle comprend Lyon et 18 communes périphériques, soit une population totale de 963 248 habitants (recensement de 1999).

La période d'étude couvre les années 2001 et 2002.

Cette étude repose sur les principes méthodologiques de l'EIS de la pollution atmosphérique urbaine dont la méthodologie comprend 4 étapes : identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition/risque et caractérisation du risque.

Les indicateurs de pollution atmosphérique retenus sont construits à partir de quatre polluants mesurés en routine sur la zone : NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et PM<sub>10</sub>, pour lesquels les relations exposition/risque utilisées sont issues d'études épidémiologiques réalisées en population générale, en privilégiant les études multicentriques et européennes. Un indicateur journalier des niveaux de polluants a été calculé pour chacun des indicateurs retenus.

Le nombre total de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique pour les années 2001 et 2002 s'élève à 424 décès, dont 159 par pathologie cardiovasculaire et 32 par pathologie respiratoire, ce qui représente 22 décès par an pour 100 000 habitants, dont 8 par mortalité cardiovasculaire et 2 par mortalité respiratoire. Le calcul des gains sanitaires associés à différents scénarii de réduction de la pollution atmosphérique montre que les plus efficaces sont ceux qui correspondent à des diminutions de 25 % des niveaux journaliers du polluant considéré sur toute la période d'étude.

Concernant les gains sanitaires à long terme, en 2001 et 2002 la norme européenne prévue pour 2005 (40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle) était d'ores et déjà respectée pour les concentrations en PM<sub>10</sub>. Le respect de la norme européenne prévue en 2010 aurait permis d'éviter 97 décès sur la totalité des décès enregistrés sur une année. De nouveau, le scénario le plus efficace est celui qui correspond à une diminution de 25 % de la moyenne annuelle d'exposition au polluant considéré (PM<sub>10</sub>), permettant d'éviter 154 décès par an.

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. Par conséquent, une réduction des émissions à la source de façon quotidienne est préférable à un contrôle des pics annuels de pollution effectué.



## Acronymes

Aasqa	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
Aphea	Air pollution and health – a European approach
Apheis	Air pollution and health – a European information system
Cim	Classification internationale des maladies
CO	Monoxyde de carbone
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
Coparly	Comité pour le contrôle de la pollution atmosphérique dans le Rhône et la région Lyonnaise
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Benzène
EIS	Evaluation d'impact sanitaire
Finess	Fichier national des établissements sanitaires et sociaux
FN	Fumées noires
HCl	Chlorure d'hydrogène
IC	Intervalle de confiance
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
NO <sub>2</sub>	Dioxyde d'azote
NO <sub>x</sub>	Oxydes d'azote
O <sub>3</sub>	Ozone
OMS	Organisation mondiale de la santé
Pb	Plomb
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
PSPH	Participant au service public hospitalier
RSA	Résumé de sortie anonymisé
SO <sub>2</sub>	Dioxyde de soufre
UV	Ultraviolet



# Sommaire

<b>1. Introduction</b>	<b>9</b>
<b>2. Description de la zone d'étude</b>	<b>11</b>
2.1. Critères géographiques	11
2.2. Population et déplacements	13
2.2.1. Densité de population	13
2.2.2. Déplacements domicile-travail	14
2.3. Données sanitaires	16
2.3.1. Mortalité	16
2.3.2. Etablissements de soins et attractivité hospitalière	16
2.4. Sources de pollution atmosphérique : émissions	16
2.5. Qualité de l'air : immissions et évolution des niveaux de pollution	17
<b>3. Matériel et méthodes</b>	<b>19</b>
3.1. Identification des dangers	19
3.1.1. Effets à court terme	19
3.1.2. Effets à long terme	19
3.2. Estimation de l'exposition	19
3.2.1. Choix des indicateurs de pollution	19
3.2.2. Définition des périodes d'étude	20
3.2.3. Construction des indicateurs d'exposition	20
3.3. Choix des relations exposition – risque	23
3.3.1. Fonctions exposition - risque court terme	23
3.3.2. Fonctions exposition – risque long terme	25
3.4. Caractérisation du risque	25
3.4.1. Principes du calcul	25
3.4.2. Recueil des données sanitaires	26
<b>4. Résultats</b>	<b>29</b>
4.1. Indicateurs de pollution	29
4.2. Indicateurs sanitaires	32
4.2.1. Mortalité	32
4.2.2. Admissions hospitalières	32
4.3. Estimation de l'impact sanitaire à court terme	32
4.3.1. Estimation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique par rapport à un niveau faible	33
4.3.2. Impact sanitaire par niveaux de pollution	34
4.3.3. Gains sanitaires liés à une baisse de la pollution atmosphérique	36
4.4. Estimation de l'impact sanitaire à long terme	40
<b>5. Discussion</b>	<b>41</b>
5.1. Hypothèses, limites et incertitudes	41
5.1.1. Identification des dangers	41
5.1.2. Relations exposition/risque	42
5.1.3. Estimation de l'exposition	42
5.1.4. Caractérisation du risque	42
5.2. Interprétation des résultats	43
<b>6. Conclusion</b>	<b>45</b>
6.1. Un impact collectif à court terme sur la mortalité non négligeable	45
6.2. Un impact sanitaire à long terme mesurable	45
6.3. Recommandations	45
6.4. Des résultats à enrichir et à communiquer	46



<b>7. Bibliographie</b> .....	<b>47</b>
<b>8. Annexes</b> .....	<b>49</b>
Annexe 1. Navettes domicile-travail.....	49
Annexe 2. Liste des établissements de soins inclus dans l'étude.....	50
Annexe 3. Distribution des concentrations des indicateurs d'exposition.....	51
Annexe 4. Corrélations entre les stations de mesure retenues.....	53
Annexe 5. Résultats détaillés des impacts sanitaires.....	54

# 1. Introduction

Le plan régional pour la qualité de l'air (PRQA), prévu par la loi du 30 décembre 1996 [1] sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, et dont les modalités de mise en œuvre sont précisées par le décret du 6 mai 1998 [2], fixe les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique. Le PRQA a quatre objectifs principaux :

- surveiller et évaluer la qualité de l'air ;
- évaluer les risques de la pollution sur la santé publique ;
- informer le grand public en cas de pics de pollution ;
- et définir des orientations concernant la surveillance de la qualité de l'air, l'évaluation des risques sanitaires et les mesures visant à réduire les émissions.

Le PRQA s'appuie donc 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.

Le plan régional santé environnement Rhône Alpes [3] de juin 2005 précise que « les études menant à une meilleure connaissance des impacts des déséquilibres de l'environnement sur la santé sont nécessaires ».

Le plan de protection de l'atmosphère (PPA) de la ville de Lyon, lancé en 2003, vise à prendre toutes les mesures nécessaires pour répondre à la réglementation européenne concernant les polluants comme SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, Pb, HCl, O<sub>3</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>. Le PPA de Lyon comprend trois groupes de travail : 1<sup>o</sup> coordination, 2<sup>o</sup> émissions, et 3<sup>o</sup> qualité de l'air et impact.

Le premier groupe est concerné par la définition d'objectifs, la coordination du PPA avec le plan de déplacement urbain (PDU), la validation des simulations réalisées par les autres groupes de travail et la communication.

Le second groupe décrit et analyse les émissions, rassemble les informations sur les mesures antérieures ou les projets visant à réduire la pollution de l'air ou à améliorer la qualité de l'air. Il proposera aussi des simulations pour atteindre les objectifs du groupe « coordination ».

Le troisième groupe donne l'information concernant la zone d'étude et la situation des stations de mesure dans cette zone. Il est informé de l'évolution de la qualité de l'air depuis le début de la surveillance et analyse le phénomène de la dispersion ou de la modification des polluants. Ce groupe utilise et teste les simulations proposées par le second groupe. Sa tâche concerne plus particulièrement l'évaluation de l'impact sanitaire sur l'agglomération de Lyon décrite dans ce rapport.

Cette étude vise à calculer l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique en terme de mortalité anticipée<sup>1</sup> et de morbidité (admissions hospitalières), en suivant la démarche méthodologique de l'évaluation de l'impact sanitaire décrite par l'Institut de veille sanitaire (InVS) [4] et en accord avec les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) [5]. L'estimation de l'impact à long terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité est réalisé grâce aux résultats des études épidémiologiques internationales qui ont permis la réactualisation du guide méthodologique de l'InVS [6].

---

<sup>1</sup> Mortalité anticipée : terme utilisé pour les effets sanitaires à court terme de la pollution atmosphérique, correspondant aux décès qui surviennent un jour donné en relation avec la pollution, et qui, en l'absence de pollution, ne se seraient pas produits ce jour-là.



## 2. Description de la zone d'étude

### 2.1. Critères géographiques

L'agglomération lyonnaise a une localisation géographique stratégique à l'intersection des axes est-ouest, de Turin à Bordeaux et nord-sud avec la vallée du Rhône, lien naturel entre l'Europe du Nord et l'Europe du Sud. Elle est située au contact de plusieurs régions naturelles et de deux grands cours d'eau, le Rhône et la Saône. Dominée par les monts du Lyonnais à l'ouest, elle est bordée au nord par le plateau de la Dombes et au sud par les collines viennoises et le massif du Pilat. A l'est se situe la plaine du bas Dauphiné.

L'agglomération lyonnaise est marquée par une influence climatique plutôt continentale, avec des conditions anticycloniques d'inversion thermique en hiver. La moyenne annuelle des températures minimales est de 8°C, celle des températures maximales est de 17°C. Les mois les plus froids sont janvier, février et mars pour l'année 2002, avec respectivement 16, 1 et 2 jours en dessous de 0°C en moyenne. Les mois les plus chauds sont ceux de juin, juillet et août avec des températures moyennes au-dessus de 25°C pendant 14, 12 et 15 jours respectivement. L'humidité relative moyenne est de 52 %. Les mois pluvieux sont mai, août et novembre avec des niveaux de précipitation au-dessus de 0,5 mm respectivement pendant 13, 13 et 19 jours. La vitesse du vent est supérieure à 3 m.s<sup>-1</sup> au moins 5 jours par mois en février, mars, septembre, octobre et décembre.

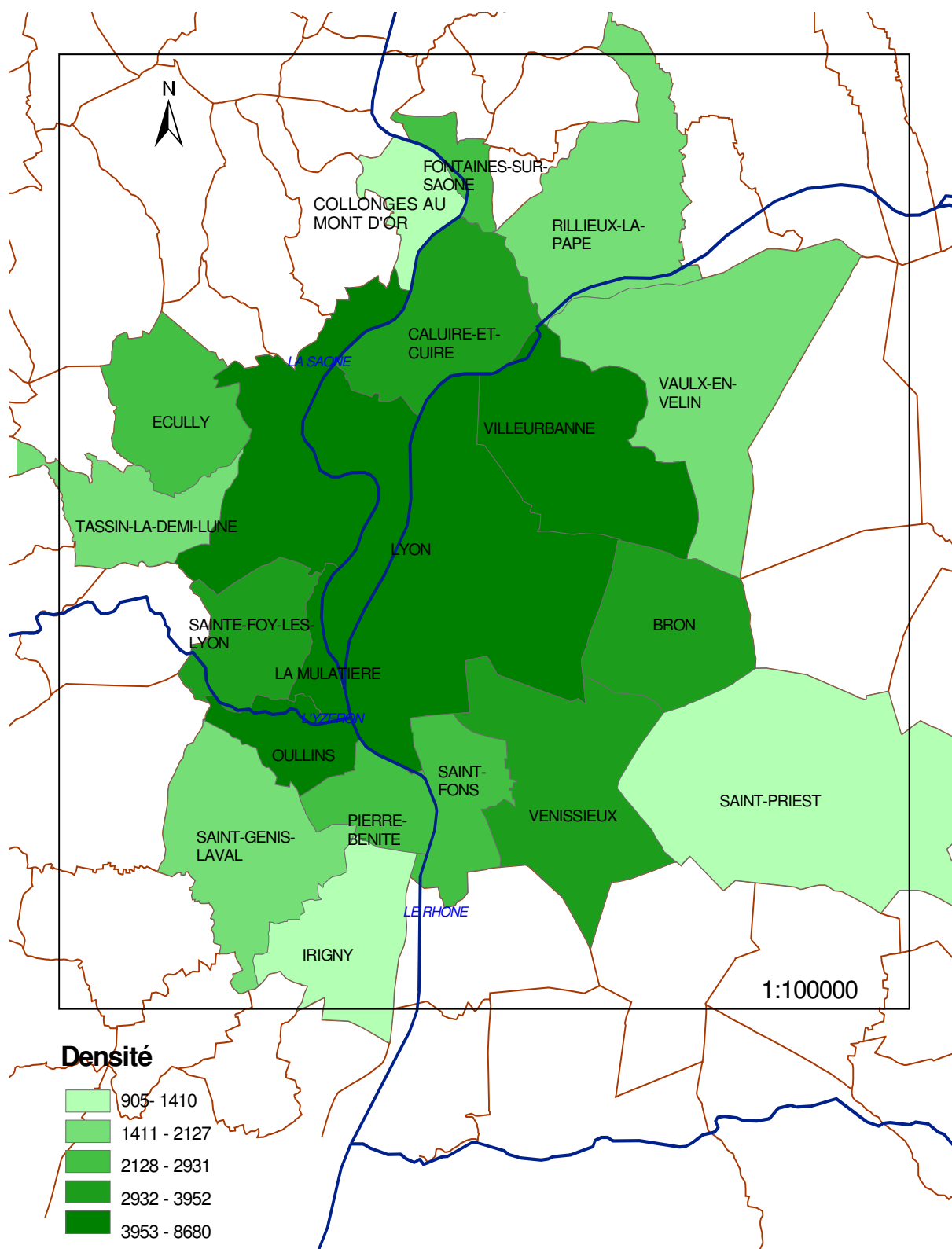
La zone du PPA de Lyon telle que décrite dans le décret du 6 mai 1998 modifié comporte 102 communes réparties sur les départements du Rhône, de l'Ain et de l'Isère. Le Comité pour le Contrôle de la pollution Atmosphérique dans la Région Lyonnaise (Coparly) surveille la qualité de l'air d'une zone plus étendue comprenant la totalité du département du Rhône (293 communes), la côtière de l'Ain (22 communes) et une commune de l'Isère (Chasse-sur-Rhône), soit 316 communes.

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 les stations de fond) et la répartition des émissions peuvent être considérées, à priori, comme homogènes ;
- et où la majorité des individus de la population séjourne en permanence de part leur domicile ou leurs déplacements (travail, école, loisirs, shopping...).

La zone d'étude sélectionnée selon ces critères regroupe Lyon et 18 communes : Bron, Caluire-et-Cuire, Collonges-au-Mont-d'Or, Ecully, Fontaines-sur-Saône, Irigny, La Mulatière, Oullins, Pierre-Bénite, Rillieux-la-Pape, Saint-Fons, Sainte-Foy-lès-Lyon, Saint-Genis-Laval, Saint-Priest, Tassin-la-Demi-Lune, Vaulx-en-Velin, Vénissieux, Villeurbanne. La figure 1 représente cette zone et la densité d'habitants par commune.

Figure 1. Zone d'étude de Lyon et densité d'habitants



Source IGN

Le périmètre retenu présente un relief marqué. C'est naturellement au niveau du val de Saône et aux abords du Rhône que l'altitude est la plus faible (165 mètres). D'un point de vue plus local, de nombreux reliefs de basse altitude sont également présents sur l'agglomération lyonnaise : collines de la Croix-Rousse (250 mètres), Fourvière (300 mètres), Sainte-Foy-lès-Lyon (298

mètres), Tassin-la-Demi-Lune (228 mètres). Dans une certaine mesure, ils influencent les conditions de dispersion des polluants émis par l'agglomération.

## 2.2. Population et déplacements

### 2.2.1. Densité de population

La zone d'étude représente une population totale de 963 248 habitants au dernier recensement Insee de 1999 [7], répartis sur 230 km<sup>2</sup>. La densité moyenne de cette zone est de 4188 hab/km<sup>2</sup>. Le tableau 1 présente la répartition des populations au sein des dix neuf 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 <sup>2</sup> )	Densité (hab/km <sup>2</sup> )
69000	Lyon	445 452	48	9 305
69500	Bron	37 369	10	3 628
69300	Caluire-et-Cuire	41 233	10	3 946
69660	Collonges- au-Mont-d'Or	3 420	4	905
69130	Ecully	18 011	8	2 131
69270	Fontaines- sur-Saône	6 721	2	2 897
69540	Irigny	8 330	9	942
69350	La Mulatière	6 733	2	3 699
69600	Oullins	25 183	4	5 723
69310	Pierre-Bénite	9 963	4	2 224
69140	Rillieux-la-Pape	28 367	14	1 959
69190	Saint-Fons	15 671	6	2 586
69110	Sainte-Foy- lès-Lyon	21 193	7	3 103
69230	Saint-Genis-Laval	19 221	13	1 488
69800	Saint-Priest	40 974	30	1 379
69160	Tassin- la-Demi-Lune	15 977	8	2 051
69120	Vaulx-en-Velin	39 154	21	1 869
69200	Vénissieux	56 061	15	3 657
69100	Villeurbanne	124 215	15	8 555
<b>Total</b>		<b>963 248</b>	<b>230</b>	<b>4 188</b>

\* Source : Insee Recensement de la Population 1999

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

**Tableau 2.** Répartition des effectifs (et pourcentages) 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	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)
Lyon	67 757	(15 %)	307 641	(69 %)	69 876	(16 %)
Bron	7 376	(20 %)	24 281	(65 %)	5 702	(15 %)
Caluire-et-Cuire	6 838	(17 %)	26 604	(64 %)	7 806	(19 %)
Collonges- au-Mont-d'Or	616	(18 %)	2 386	(70 %)	413	(12 %)
Ecully	3 413	(19 %)	11 717	(65 %)	2 827	(16 %)
Fontaines- sur-Saône	1 286	(19 %)	4 353	(65 %)	1 086	(16 %)
Irigny	1 738	(21 %)	5 745	(69 %)	853	(10 %)
La Mulatière	1 071	(16 %)	4 389	(65 %)	1 264	(19 %)
Oullins	4 306	(17 %)	16 457	(65 %)	4 423	(18 %)
Pierre-Bénite	2 079	(21 %)	6 651	(67 %)	1 256	(13 %)
Rillieux-la-Pape	6 171	(22 %)	18 733	(66 %)	3 423	(12 %)
Saint-Fons	3 314	(21 %)	10 261	(65 %)	2 094	(13 %)
Sainte-Foy- lès-Lyon	3 838	(18 %)	13 525	(64 %)	3 853	(18 %)
Saint-Genis-Laval	3 733	(19 %)	13 190	(69 %)	2 284	(12 %)
Saint-Priest	8 472	(21 %)	27 628	(67 %)	4 844	(12 %)
Tassin- la-Demi-Lune	2 650	(17 %)	10 378	(65 %)	2 941	(18 %)
Vaulx-en-Velin	9 073	(23 %)	26 075	(67 %)	3 980	(10 %)
Vénissieux	11 712	(21 %)	36 863	(66 %)	7 439	(13 %)
Villeurbanne	20 995	(17 %)	84 104	(68 %)	19 053	(15 %)
<b>Total</b>	<b>166 438</b>	<b>(17 %)</b>	<b>650 981</b>	<b>(68 %)</b>	<b>145 417</b>	<b>(15 %)</b>

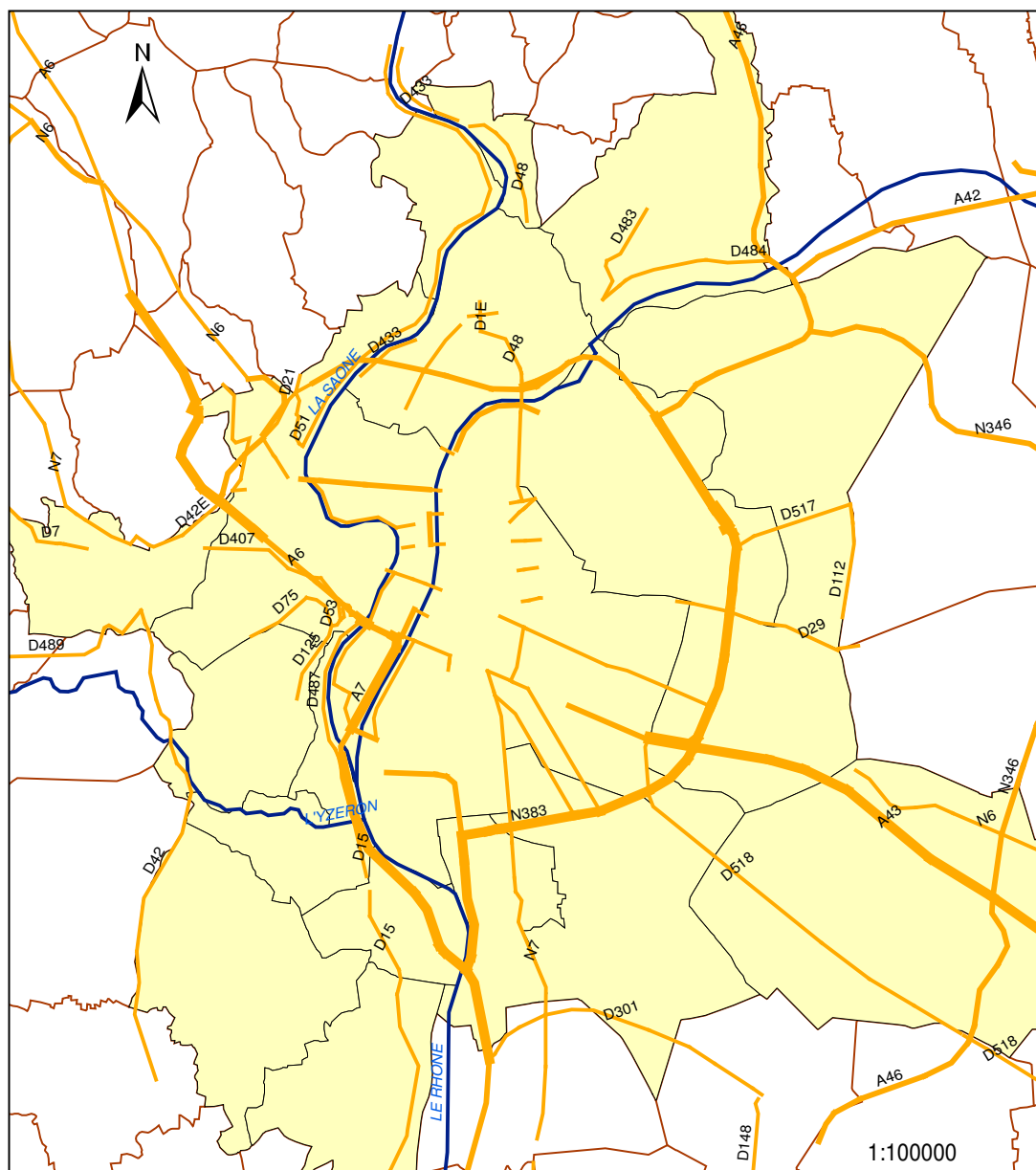
\* Source : Insee Recensement de la Population 1999

### 2.2.2. Déplacements domicile-travail

La ville de Lyon compte en moyenne 4 400 000 déplacements quotidiens qui augmentent de 25% tous les 10 ans. En 1999, chaque jour, 600 000 véhicules en moyenne sont entrés dans Lyon, dont 100 000 par le tunnel de Fourvière et 90 000 sous le tunnel de la Croix-Rousse. Egalement, 200 000 proviennent du nord et du sud par les autoroutes A6 et A7 respectivement (figure 2).

Ce volume de déplacement est expliqué par le fait qu'environ 468 600 personnes travaillent dans la zone d'étude, dont 33% résident en dehors de cette zone. A l'opposé, parmi les 384 100 actifs résidant dans la zone d'étude, seuls 18% travaillent en dehors de cette zone (Annexe 1).

Figure 2. Zone d'étude et comptages routiers



- Comptage**  
(nb véhicules/j)
- 5234 - 50000
  - 50001 - 100000
  - 100001 - 160503
- Zone d'étude**
- Zone d'étude

Source IGN



## 2.3. Données sanitaires

### 2.3.1. Mortalité

Dans la région Rhône-Alpes, l'espérance de vie à la naissance est plus élevée qu'au niveau national (respectivement 76,3 ans *versus* 75,4 ans pour les hommes, et 83,4 ans *versus* 82,8 ans pour les femmes, en 1999-2001). Des différences existent entre les huit départements de la région (entre 75,6 ans et 76,7 ans pour les hommes, et 82,9 ans et 83,8 ans pour les femmes). Pour les années 1999-2001, la mortalité prématurée (décès avant 65 ans) des hommes et des femmes était plus faible qu'au niveau national, respectivement 2,7 ‰ *versus* 3,1 et 1,1 *versus* 1,3. Les mortalités néonatale, post-néonatale et infantile étaient plus faibles qu'au niveau national en 1999 (respectivement 2,6 pour 1000 naissances vivantes *versus* 2,9, 1,3 *versus* 1,6 et 3,9 *versus* 4,5). Le taux de mortalité infantile n'a cessé de diminuer depuis 1982 (8,6 pour 1000 naissances vivantes). Cependant, depuis 1996, cette diminution se ralentit en France, notamment dans la région Rhône-Alpes.

Les maladies cardiovasculaires sont la principale cause de mortalité dans la population générale de Lyon (31,5 % de la totalité des décès en 1999). Ces décès concernent principalement les personnes âgées (90 % du total). Les cancers représentent la seconde cause de mortalité (29,4 % de la totalité des décès), même pour les 15-64 ans, les cancers du poumon étant prédominants (183 décès soit 5,1 % des décès toutes causes). La troisième cause de mortalité concerne les maladies respiratoires (7,7 %).

Les principales causes de mortalité infantile à Lyon sont les maladies congénitales, (5 décès en 1999), les traumatismes obstétricaux et anoxies (3 décès chacun), et la mort subite du nourrisson (1 décès) dont la fréquence a diminué (4 fois moins depuis 1990 dans la région Rhône-Alpes, et jusqu'à 12 fois moins dans le département de l'Ain) depuis l'adoption de mesures de prévention (dormir sur le dos).

### 2.3.2. Etablissements de soins et attractivité hospitalière

Les établissements de soins présents dans la zone d'étude et susceptibles de recevoir des patients souffrant des pathologies retenues pour cette étude (pathologies respiratoires, cardiovasculaires et cardiaques) sont au nombre de 8. La liste est présentée en Annexe 2.

## 2.4. Sources de pollution atmosphérique : émissions

La mise en place du plan de protection de l'atmosphère (PPA) sur l'agglomération lyonnaise [8] a permis de montrer qu'en 2003 les émissions soufrées sont pour 85 % d'origine industrielle, provenant en majorité de la raffinerie de Feyzin (Vallée du Rhône, au sud de l'agglomération), et ponctuellement des installations de chauffage urbain. Les émissions d'oxydes d'azote et de monoxyde de carbone sont pour 64 % issues du trafic routier. Les particules sont d'origine variée, les plus fines étant liées au trafic routier.

Les émissions atmosphériques des véhicules ont été estimées en 2004 à l'occasion de la mise en place du PPA [8]. Elles sont présentées en tonnes par an dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Emissions (en tonnes par an) selon différentes sources, agglomération lyonnaise\*, 2003

<b>Polluant</b>	<b>Trafic</b>	<b>Industriel</b>	<b>Tertiaire</b>	<b>Autres</b>
Monoxyde de carbone (CO)	35 172	7 034	10 822	2 164
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	14 625	5 107	2 089	1 393
Composés organiques volatils (COV)	4 558	7 977	9 116	1 140
PM10	1 236	1 236	1 492	298
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	527	11 192	1 448	0

\* Source PPA de l'agglomération lyonnaise (soit 102 communes), état de lieux 2004

## 2.5. Qualité de l'air : immissions et évolution des niveaux de pollution

L'association Coparly a fourni les valeurs moyennes des différents polluants mesurés au niveau des stations de mesures fixes pour la zone d'étude retenue. La pollution moyenne mesurée dans ces communes a permis, dans un second temps, de confirmer que la zone retenue était homogène en terme d'immissions.

Les tendances des concentrations de chaque polluant au cours du temps peuvent être interprétées de la façon suivante :

- dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) : depuis 1993, ce polluant diminue constamment passant d'une moyenne annuelle de 42 à 10 µg/m<sup>3</sup> en 2002.
- le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) sont restés presque au même niveau depuis 1993. Néanmoins, pour le NO<sub>2</sub>, la part due au seul trafic a un peu diminué depuis 1997 passant d'une moyenne annuelle de 70 à moins de 60 µg/m<sup>3</sup> en 2002.
- l'ozone (O<sub>3</sub>) ne montre aucune évolution dans ses concentrations au cours de cette période, restant stable autour d'une moyenne annuelle de 60 µg/m<sup>3</sup>.
- les concentrations en particules de diamètre aérodynamique de moins de 10 µm (PM10) sont restées inchangées depuis 1995, avec une moyenne annuelle d'environ 25 µg/m<sup>3</sup>.
- les mesures du monoxyde de carbone montrent des résultats encourageants avec une tendance à la baisse depuis 1993. Les concentrations sont passées d'une moyenne annuelle de 3000 à 1000 µg/m<sup>3</sup> depuis 2000.



## 3. Matériel et méthodes

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 [4] en accord avec les recommandations de l'OMS [5].

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

### 3.1. Identification 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 et quantifiables en nombre de cas de la pollution atmosphérique sur la santé à l'échelle des populations urbaines concernent la mortalité toutes causes, cardiovasculaire et respiratoire et la morbidité étudiés au travers des admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardiovasculaires.

#### 3.1.1. Effets à court terme

L'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité toutes causes hors morts violentes et accidents de la circulation (codes Cim9 : < 800 ; codes Cim10 : A00-R99), la mortalité respiratoire et la mortalité cardiovasculaire se traduit par un nombre de décès anticipés attribuables à un différentiel de pollution donné au cours d'une année. Un décès anticipé qualifie un décès qui, un jour donné et sans qu'intervienne l'âge, se produit à cause de la pollution atmosphérique. Il ne se serait pas produit ce jour si le niveau de pollution n'avait pas augmenté. La méthodologie des séries temporelles utilisée pour établir les relations expositions - risques à court terme ne permet pas d'estimer les délais d'anticipation, mais il serait de l'ordre de quelques semaines à quelques mois pour les broncho-pneumopathies chroniques obstructives et de quelques mois à quelques années pour les cardiopathies ischémiques [9,10]. Par ailleurs, l'impact sanitaire à court terme est aussi évalué pour les admissions hospitalières pour causes respiratoires (codes Cim9 : 460-519 ; codes Cim10 : J00-J99), cardiovasculaires (codes Cim9 390-4559 ; codes Cim10 : I00-I99) et cardiaques, et qui sont liées à la pollution atmosphérique.

#### 3.1.2. Effets à long terme

S'agissant des effets à long terme, seule la mortalité toutes causes hors morts violentes et par accidents a pu être prise en compte. Ils sont dus à une exposition chronique à la pollution dont l'effet sur la santé contribue au développement de maladies chroniques tels que les cancers pulmonaires et les affections cardio-respiratoires entraînant une diminution de l'espérance de vie.

### 3.2. 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.

#### 3.2.1. Choix des indicateurs de pollution

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, à l'exception des fumées noires (décret 2002-213 du 15 février 2002) [11].

Les fumées noires ne sont pas mesurées dans les conditions qui auraient permis leur utilisation dans le cadre de ce travail. Seule une station industrielle et une de trafic, située à proximité immédiate de la source de pollution, ont mesuré cet indicateur.

Quatre polluants mesurés en routine sont retenus pour la construction des indicateurs d'exposition pour les études d'impact sanitaire : les particules d'un diamètre aérodynamique inférieur 10 µm (PM10) et le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) pour la pollution acido-particulaire, le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et l'ozone (O<sub>3</sub>) pour la pollution photo-oxydante.

### 3.2.2. Définition des périodes d'étude

Les données météorologiques sont complètes et disponibles pour les années 2001 et 2002. Le choix de faire l'EIS sur deux années se justifie par une meilleure représentativité des résultats.

Au moment de la réalisation de l'étude, les données de mortalité et les données d'admissions hospitalières sont disponibles pour ces mêmes années 2001 et 2002.

La période d'étude est donc définie du 1<sup>er</sup> janvier 2001 au 31 décembre 2002.

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

La comparaison des paramètres météorologiques, notamment pour les facteurs intervenants 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 4.** Comparaison des paramètres météorologiques des années 2001 et 2002 avec ceux moyennés sur la période 1947-2002.

	Températures mensuelles moyennes (°C)		Moyenne annuelle de jours avec précipitations ≥ 1 mm (en jours)		Durée mensuelle moyenne de l'insolation (en heures)		Moyenne mensuelle de la vitesse du vent (en m/s)	
	été	année	hiver	année	été	année	hiver	année
Année 2001	17,9	12,9	51	111	220	159	12,9	12,2
Année 2002	17,7	13,2	54	106	224	163	11,3	11,5
Années 1947-2002	17,1	11,8	55	106	236	166	11,1	11,1

Seules les températures hivernales des années 2001 et 2002 sont légèrement plus élevées que celles observées sur les 56 dernières années. Par contre, les températures estivales, qui ont un impact sur la répartition de l'ozone, ne diffèrent pas avec les années précédentes. Les autres paramètres météorologiques des années 2001 et 2002 sont du même ordre de grandeur que ceux observés sur les 56 dernières années.

Les années 2001 et 2002 peuvent donc être considérées comme représentatives de la situation habituelle rencontrée sur la zone d'étude.

### 3.2.3. Construction des indicateurs d'exposition

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.

### Recueil des données de qualité de l'air

Créée en 1979, l'association agréée de la surveillance de la qualité de l'air, Coparly, a progressivement mis en place des stations de mesure dans le département du Rhône et la Côte d'Azur de l'Ain.

Sur la zone d'étude retenue, 18 stations sont actuellement exploitées : 7 stations urbaines mesurant la pollution de fond dans le centre urbain, 1 station péri-urbaine mesurant la pollution en périphérie du centre urbain, 7 stations de trafic et 3 présentant une proximité industrielle.

Les caractéristiques des stations de mesure présentes sur la zone d'étude sont décrites dans les tableaux 5 et 6. 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 retenus pour l'EIS (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et PM10) sont mesurés en routine.

**Tableau 5.** Description des stations de la zone d'étude\*

Station - localisation	Type de station	Polluants mesurés			
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM10
Puits-Gaillot (1 <sup>er</sup> )	Trafic	x	x		
Montchat (3 <sup>ème</sup> )	Urbaine	x			
Grand-Clément (3 <sup>ème</sup> /Villeurbanne)	Trafic		x		x
Berthelot (3 <sup>ème</sup> /7 <sup>ème</sup> )	Trafic		x		x
Croix-Rousse (4 <sup>ème</sup> )	Urbaine	x			
Saint-Just (5 <sup>ème</sup> )	Urbaine	x	x	x	
Point du Jour (5 <sup>ème</sup> )	Urbaine	x			
Garibaldi (6 <sup>ème</sup> )	Trafic		x		
Bossuet-Garibaldi (6 <sup>ème</sup> )	Urbaine				x
Gerland (7 <sup>ème</sup> )	Urbaine	x	x	x	
Etats-Unis (8 <sup>ème</sup> )	Trafic		x		x
Vaise-Marietton (9 <sup>ème</sup> )	Trafic		x		
Croix-Luizet (Villeurbanne)	Urbaine	x	x	x	x
La Mulatière	Trafic		x		x
Pierre-Bénite	Industrielle	x			
Vénissieux	Industrielle	x			
Saint-Fons	Industrielle	x	x		x
Saint-Priest	Péri-urbaine			x	

\*Source : Coparly

**Tableau 6. Méthodes de mesures des différents polluants\***

<b>Polluants</b>	<b>Méthode de mesure</b>
SO <sub>2</sub>	Fluorescence UV
NO <sub>2</sub>	Chimiluminescence
O <sub>3</sub>	Photométrie UV
PM10	TEOM (Tapered Element Oscillation Microbalance)

\*Source : Coparly

### **Sélection des stations de mesure**

L'objectif est de construire, à l'échelle d'une unité urbaine, des indicateurs « d'exposition ambiante ».

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

- les distributions des niveaux des indicateurs de pollution des stations étudiées doivent être proches et refléter les mêmes phénomènes de pollution par un chevauchement de l'étendue des interquartiles et une différence entre les moyennes annuelles n'excédant pas 15 µg/m<sup>3</sup> ;
- les niveaux journaliers des indicateurs de pollution des stations étudiées doivent être bien corrélés dans le temps entre les différentes stations : coefficient de corrélation ≥ 0,6 entre les séries ;
- une station donnée doit pouvoir être qualifiée, du point de vue de son environnement, comme représentative de l'exposition de la population ;
- une station donnée doit avoir moins de 25 % de données journalières manquantes (au moins 18 valeurs horaires sont disponibles).

Pour la construction des indicateurs relatifs aux polluants SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, et PM10, les stations de fond situées en milieu urbain ont été retenues lorsqu'elles respectaient les critères ci-dessus. Concernant l'O<sub>3</sub>, une station péri-urbaine a également été intégrée dans la construction de l'indicateur d'exposition.

Pour chaque polluant, un indicateur d'exposition unique a donc été construit et est décrit comme suit :

Concernant le NO<sub>2</sub>, 3 stations de l'agglomération lyonnaise ont été retenues : Croix-Luizet, Gerland et Saint-Just. Pour les années 2001 et 2002, les valeurs journalières des stations sont bien corrélées entre elles – coefficients supérieurs à 0,85 (Annexe 4) – et les moyennes journalières varient de 41 à 44 µg/m<sup>3</sup>.

Concernant le SO<sub>2</sub>, 10 stations de l'agglomération lyonnaise (6 urbaines, 3 industrielles et 1 de trafic) disposent de mesures disponibles pour les années 2001 et 2002. La station de trafic de Puits Gaillot est exclue car il n'existe pas de chevauchement des espaces interquartiles entre les valeurs de cette station et celles d'une autre station urbaine. Les 3 stations industrielles sont exclues car leurs valeurs journalières sont mal corrélées avec celles des autres stations (coefficients inférieurs à 0,6). Les valeurs journalières des 6 autres stations sont moyennement, mais suffisamment corrélées entre elles – coefficients supérieurs à 0,6 (Annexe 4) – et les moyennes journalières varient de 3 à 8 µg/m<sup>3</sup>. Les 6 stations urbaines (Croix-Luizet, Croix-Rousse, Gerland, Montchat, Point-du-Jour, et Saint-Just) seront donc utilisées dans la construction de l'indicateur d'exposition aux SO<sub>2</sub> pour les années 2001 et 2002.

Concernant l'O<sub>3</sub>, 4 stations (3 stations urbaines et 1 station suburbaine) disposent de mesures disponibles pour les années 2001 et 2002 : Croix-Luizet, Gerland, Saint-Just et Saint-Priest. Les valeurs journalières sont très fortement corrélées – coefficients supérieurs à 0,95 (Annexe 4) – et

les moyennes journalières varient de 80 à 94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les 4 stations seront donc utilisées dans la construction de l'indicateur d'exposition à l' $\text{O}_3$ .

Concernant les PM10, 5 stations (3 de trafic et 2 urbaines) disposent de mesures disponibles pour les années 2001 et 2002. Les valeurs journalières des 2 stations urbaines sont très fortement corrélées – coefficients supérieurs à 0,95 (Annexe 4) – et les moyennes journalières varient de 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les 2 stations urbaines (Bossuet-Garibaldi et Croix-Luizet) seront donc utilisées dans la construction de l'indicateur d'exposition aux PM10 pour les années 2001 et 2002.

Ces données sont validées par le réseau de mesure Coparly 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 définie comme manquante). Ces valeurs manquantes sont remplacées par la méthode des moyennes saisonnières ou la méthode de régression linéaire selon la durée de la période des valeurs manquantes.

Les indicateurs d'exposition sont ensuite construits en calculant la moyenne arithmétique des données journalières des capteurs des stations sélectionnées pour PM10,  $\text{SO}_2$  et  $\text{NO}_2$ . Pour l'ozone, pour chaque station, la valeur journalière correspond au maximum des concentrations moyennes glissantes sur 8 heures pour chaque jour. Ensuite l'indicateur d'ozone est calculé en faisant la moyenne de ses maximums. L'indicateur journalier d'un polluant permet le calcul de son impact sanitaire à court terme. Le calcul de l'impact sanitaire à long terme prend en compte la moyenne annuelle de l'indicateur. En effet, les relations exposition/risque à long terme disponibles sont basées sur des moyennes annuelles d'exposition.

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

### **3.3. Choix des relations exposition – risque**

Dans son guide méthodologique réactualisé en 2003 [6], 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 [9].

Dans les tableaux 7 à 11, les risques relatifs des fonctions exposition/risque apparaissent en gras lorsqu'ils sont significatifs.

#### **3.3.1. Fonctions exposition - risque court terme**

Depuis la première parution du guide méthodologique de l'InVS en 1999, les fonctions exposition/risque concernant les indicateurs ont été actualisées d'une part, au niveau européen, dans le cadre du programme Air pollution and health – a European approach [12] (Apeha2), et d'autre part, au niveau national, dans le cadre du Psas-9 (programme de surveillance air et santé dans 9 villes françaises) [13]. Ces nouvelles relations ont été intégrées dans le nouveau guide de 2002.

#### ***Mortalité totale, cardiovasculaire et respiratoire***

Les fonctions exposition/risque produites par le Psas-9 (phase II) sont utilisées pour  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ . Pour les PM10, les fonctions exposition/risque du programme Apeha2 sont utilisées.



**Tableau 7.** 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/m<sup>3</sup> des indicateurs de pollution

<b>Mortalité</b>	<b>PM10*</b>	<b>SO<sub>2</sub>**</b>	<b>NO<sub>2</sub>**</b>	<b>O<sub>3</sub>**</b>
Toutes causes	<b>1,006</b> [1,004 - 1,008]	<b>1,011</b> [1,005 - 1,017]	<b>1,010</b> [1,007 - 1,013]	<b>1,007</b> [1,003 - 1,010]
Cardiovasculaire		<b>1,008</b> [1,004 - 1,011]	<b>1,012</b> [1,005 - 1,018]	<b>1,011</b> [1,004 - 1,018]
Respiratoire		<b>1,011</b> [1,001 - 1,021]	<b>1,013</b> [1,005 - 1,021]	<b>1,012</b> [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'une EIS. Les fonctions exposition/risque élaborées dans le cadre d'Apeha1 [14] et Apeha2 [15] sont donc utilisées.

**Tableau 8.** Risques relatifs d'admissions hospitalières pour les pathologies respiratoires (et intervalles de confiance à 95%) estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux de polluants

	<b>Admissions hospitalières pour pathologies respiratoires</b>	
	<b>Chez les 15-64 ans</b>	<b>Chez les 65 ans et plus</b>
SO <sub>2</sub>	1,002 [0,998 - 1,005]*	<b>1,004</b> [1,001 - 1,009]*
PM10		<b>1,009</b> [1,006 - 1,013]**
NO <sub>2</sub>	1,002 [0,997 - 1,007]*	1,004 [0,996 - 1,012]*
O <sub>3</sub> été	1,004 [0,998 - 1,010]*	<b>1,008</b> [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 SO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub> sont celles du premier guide méthodologique de l'InVS, elles correspondent à un méta-risque calculé à partir d'études réalisées à Paris et Londres [4].

**Tableau 9.** Risques relatifs d'admissions hospitalières pour les pathologies cardiovasculaires (et intervalles de confiance à 95%) estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux des polluants

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

\*Source : Psas-9

Pour les PM10, des relations exposition/risque ont été produites dans le cadre du programme Apeha2 [16] pour les indicateurs de pathologies cardiaques uniquement.

**Tableau 10.** Risques relatifs d'admissions hospitalières pour les pathologies cardiaques (et intervalles de confiance à 95%) estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des PM10\*

	Admissions pour pathologies cardiaques*	
	Tous âges	65 ans et plus
PM10	<b>1,005</b> [1,002 - 1,008]	<b>1,007</b> [1,004 - 1,010]

\*Source : Apeha2

### 3.3.2. Fonctions exposition – risque long terme

Pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme, la fonction exposition/risque utilisée dans l'étude tri-nationale, analysant l'impact des PM10 sur la mortalité toutes causes, et provenant d'études américaines [17], est utilisée. Cette fonction est également retenue par l'OMS.

**Tableau 11.** Risques relatifs de mortalité à long terme (et intervalles de confiance à 95%) estimés pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des PM10\*

Mortalité	PM10*
Toutes causes	<b>1,043</b> [1,026 - 1,061]

\*Source : étude tri-nationale [17]

## 3.4. 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.

### 3.4.1. Principes du calcul

Le nombre d'évènements 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'évènements sanitaires au cours de la période considérée, selon la formule suivante :

$$PA = f (RR - 1) / (1 + f (RR - 1))$$

où : PA = proportion d'évènements sanitaires attribuables au niveau de pollution considéré ;

RR = risque relatif associé au niveau de pollution ;

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  $RR_{\Delta}$  est l'excès de risque associé au différentiel de pollution  $\Delta$  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 du polluant considéré au cours de la période d'étude et de l'objectif de l'EIS.

Le nombre d'évènements 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 :

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

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

En pratique, le nombre d'évènements 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 évènements sanitaires attribuables pour chaque jour.

Ce calcul s'applique pour chacun des indicateurs d'exposition caractérisant la pollution atmosphérique urbaine. Cependant, les risques relatifs associés à chaque indicateur n'étant pas indépendants, les nombres d'évènements 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'évènements attribuables à l'un des indicateurs d'exposition étudié.

### 3.4.2. Recueil des données sanitaires

#### **Données de mortalité**

Les données de mortalité ont été obtenues auprès du service CepiDc (centre épidémiologique des données de décès) de l'Institut National pour la Santé et la Recherche Médicale (Inserm) par l'intermédiaire de l'InVS. L'étude concerne la mortalité toutes causes (hors morts violentes et accidentelles pour l'EIS à court terme), la mortalité pour cause respiratoire et pour cause cardiovasculaire pour les individus domiciliés dans la zone d'étude.

#### **Données de morbidité**

Les informations concernant la morbidité hospitalière sont extraites du programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) à partir des résumés de sortie anonymisés (RSA) obtenus auprès du service des systèmes d'information de l'InVS. Les nombres d'admissions hospitalières sont donc comptabilisés, pour les périodes étudiées et les diagnostics retenus, à partir des RSA des patients en provenance de leur domicile, hospitalisés plus de 24 heures dans des établissements de soins susceptibles de recevoir des urgences et localisés dans la zone d'étude. Les codes des diagnostics correspondant aux types d'admissions sont les suivants :

- admissions pour pathologies respiratoires (codes Cim10 : J00-J99) chez les 15-64 ans et les 65 ans et plus,

- admissions pour pathologies cardio-vasculaires (codes Cim10 : I00-I99) tous âges,
- admissions pour pathologies cardiaques (codes Cim10 : I00-I52) tous âges et chez les 65 ans et plus.



## 4. Résultats

### 4.1. Indicateurs de pollution

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

**Tableau 12.** Description des indicateurs d'exposition, agglomération lyonnaise, 2001

	O3** été	NO2 année	NO2 été	NO2 hiver	SO2 année	SO2 été	SO2 hiver	PM10 année	PM10 été	PM10 hiver
Nombre	183	365	183	182	365	183	182	365	183	182
Minimum*	27	14	14	14	0	0	1	7	7	8
Percentile 5*	48	20	19	25	1	0	2	11	10	11
Percentile 25*	68	31	27	37	2	1	4	15	15	15
Médiane*	87	41	35	46	4	2	6	21	20	21
Percentile 75*	112	52	45	57	8	6	10	27	26	29
Percentile 95*	145	69	59	70	16	11	20	39	33	46
Maximum*	196	85	74	85	40	21	40	64	39	64
Moyenne *	91	42	37	47	6	4	8	22	20	23
Ecart-Type*	30,7	14,5	13,0	14,3	5,7	4,1	6,3	9,5	7,2	11,1
% Valeurs manquantes	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

\* en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , \*\* max 8h

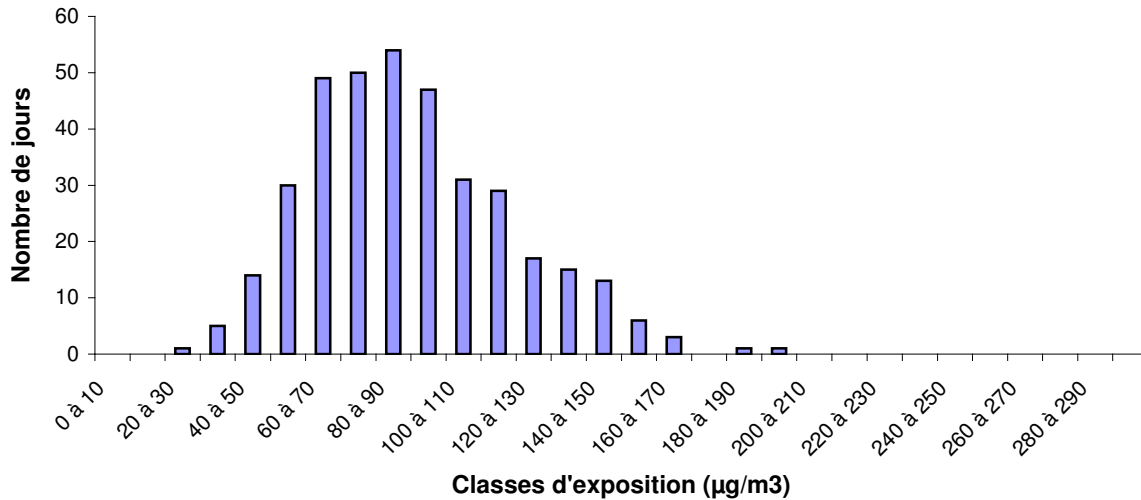
**Tableau 13.** Description des indicateurs d'exposition, agglomération lyonnaise, 2002

	O3 été	NO2 année	NO2 été	NO2 hiver	SO2 année	SO2 été	SO2 hiver	PM10 année	PM10 été	PM10 hiver
Nombre	183	365	183	182	365	183	182	365	183	182
Minimum*	35	12	12	14	0	0	0	9	9	9
Percentile 5*	52	20	19	25	0	0	1	13	12	13
Percentile 25*	70	31	27	37	1	1	4	17	17	18
Médiane*	86	39	34	47	4	2	6	22	22	23
Percentile 75*	103	51	41	58	8	4	10	30	28	33
Percentile 95*	139	75	54	83	18	13	23	42	37	54
Maximum*	182	145	65	145	61	22	61	112	47	112
Moyenne *	89	42	34	51	6	3	9	25	23	27
Ecart-Type*	26,4	18,8	11,0	21,5	7,5	4,1	9,0	12,6	7,7	15,8
% Valeurs manquantes	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

\* en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

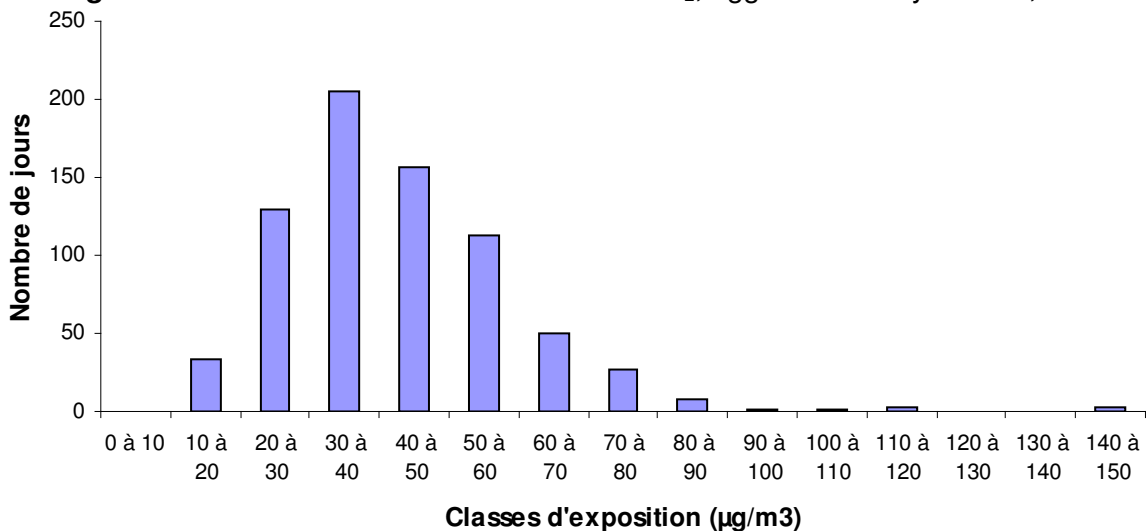
La comparaison des statistiques descriptives des indicateurs d'exposition pour SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM10 et O<sub>3</sub> entre 2001 et 2002 ne montre pas de réelle différences. Les distributions de ces indicateurs par classe sont présentées sur les figures 2 à 3 pour les deux années réunies.

**Figure 2.** Distribution des concentrations d'ozone, agglomération lyonnaise, étés 2001 et 2002



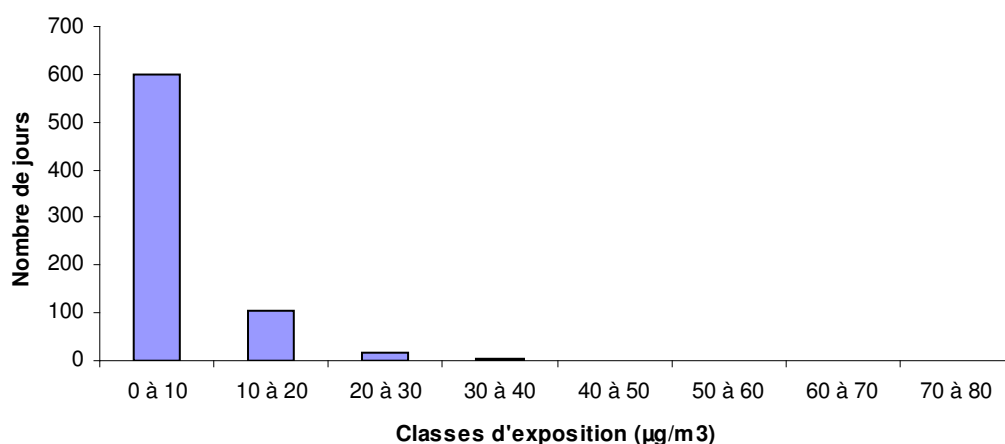
La valeur limite prévue par le PPA de Lyon pour 2005 pour l'ozone (110 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle) est respectée en 2001 et 2002. A titre d'information, 23% des concentrations journalières dépassent cette valeur.

**Figure 3.** Distribution des concentrations de NO<sub>2</sub>, agglomération lyonnaise, 2001-2002



La valeur limite prévue par le PPA de 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle pour le NO<sub>2</sub> est légèrement dépassée tant en 2001 qu'en 2002. Les moyennes annuelles observées sont donc très proches de cette valeur, et au cours de la moitié des jours de la période d'étude, les valeurs journalières sont supérieures à 40 µg/m<sup>3</sup>.

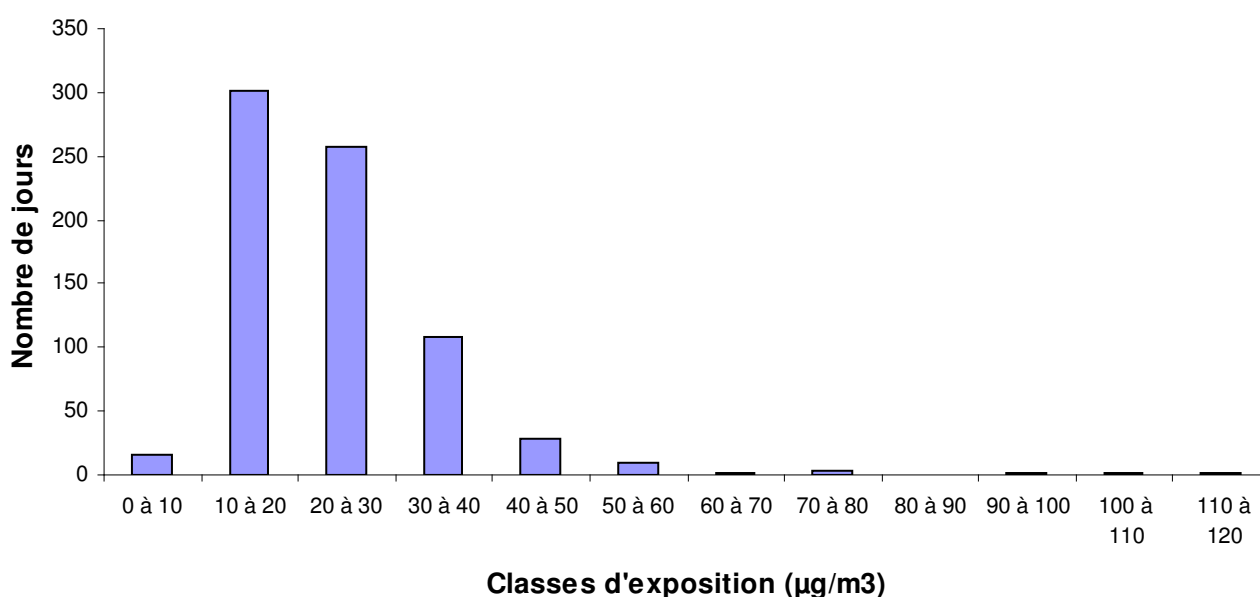
**Figure 4.** Distribution des concentrations de SO<sub>2</sub>, agglomération lyonnaise, 2001-2002



La valeur limite prévue par le PPA est fixée à 20 µg/m<sup>3</sup>. A titre d'information, les niveaux journaliers de l'indicateur d'exposition au SO<sub>2</sub> sont inférieurs à cette valeur pour 96 % des concentrations mesurées pendant la période d'étude.

Les niveaux de cet indicateur sont trop faibles pour qu'il soit pris en compte dans les calculs d'impact sanitaire.

**Figure 5.** Distribution des concentrations en PM<sub>10</sub>, agglomération lyonnaise, 2001-2002



La valeur limite annuelle prévue par le PPA pour les PM<sub>10</sub> (40 µg/m<sup>3</sup>) est respectée en 2001 et 2002.

Toutefois, la moyenne annuelle en PM<sub>10</sub> reste au-dessus de la valeur de 20 µg/m<sup>3</sup> recommandée par l'Union Européenne en 2010. La valeur limite de 50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière est dépassée 6 jours en 2001 et 12 jours en 2002, ce qui demeure en dessous des 35 dépassements journaliers autorisés en 2005.



## 4.2. Indicateurs sanitaires

### 4.2.1. Mortalité

Les nombres de décès des personnes domiciliées dans la zone d'étude pour toutes causes confondues (hors morts violentes et accidentelles), par maladies cardiovasculaires et maladies respiratoires sont présentés dans le tableau 14. Quelle que soit la cause, le nombre de décès s'avère plus élevé en hiver.

**Tableau 14.** Nombre annuel total de décès et moyennes journalières, agglomération lyonnaise, 2001-2002

Années 2001 et 2002	Nombre total de décès			Moyenne journalière		
	étés	hivers	années	étés	hivers	années
Mortalité toutes causes	6 359	6 932	13 291	17,4	19,0	18,2
Mortalité respiratoire	342	441	783	0,9	1,21	1,1
Mortalité cardio-vasculaire	1 926	2 253	4 179	5,3	6,2	5,7

### 4.2.2. Admissions hospitalières

L'ensemble des établissements de soins publics et privés de la zone d'étude qui participent au PMSI a été retenu soit 3 centres hospitaliers publics et 5 cliniques privées (liste en Annexe 2). Les admissions se révèlent plus fréquentes en hiver, quel que soit le motif, l'activité hospitalière connaissant traditionnellement une forte baisse en juillet et août.

**Tableau 15.** Nombre d'admissions hospitalières, agglomération lyonnaise, 2001-2002

Années 2001 et 2002		Motifs respiratoires		Motifs cardio-vasculaires	Motifs cardiaques	
		15-64 ans	≥ 65 ans	Tous âges	Tous âges	≥ 65 ans
		Nombre total d'admissions	années	3 753	4 123	23 444
	étés	1 747	1 790	10 552	6 453	4 333
	hivers	2 006	2 333	12 892	7 572	5 125
Moyennes journalières	années	5,1	5,6	32,1	19,2	13,0
	étés	4,8	4,9	28,8	17,6	11,8
	hivers	5,5	6,4	35,4	20,8	14,1

## 4.3. Estimation de l'impact sanitaire 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 décès attribuables à la pollution atmosphérique calculés pour chaque indicateur d'exposition ne peuvent être sommés. Par conséquent, pour chaque indicateur sanitaire, le nombre de décès attribuables est égal à la valeur maximale observée parmi les différentes estimations faites pour chacun des polluants.

Les résultats sont présentés par leur estimation centrale et l'intervalle de confiance à 95 %. Les autres résultats obtenus pour chacun des polluants sont présentés en Annexe 5.

#### 4.3.1. Estimation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique par rapport à un niveau faible

Les niveaux de référence choisis pour cette estimation globale correspondent à des niveaux faibles de pollution, inférieurs aux percentiles 5 (tableaux 12 et 13) des polluants : ils sont de 40 µg/m<sup>3</sup> pour l'ozone et 10 µg/m<sup>3</sup> pour les autres indicateurs de pollution [6].

##### Sur la mortalité anticipée

Le nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique pour les années 2001 et 2002 est présenté dans le tableau 16.

L'indicateur d'exposition NO<sub>2</sub> est l'indicateur qui a le plus d'impact sur la mortalité anticipée, quelle qu'en soit la cause.

**Tableau 16.** Nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique en fonction de la cause de mortalité, agglomération lyonnaise, 2001-2002

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre de décès attribuables [intervalle de confiance à 95 %]	
	2001 et 2002	Moyenne annuelle
Mortalité toutes causes	424 [295 – 553]	212 [148 – 277]
Mortalité respiratoire	32 [12 – 53]	16 [6 – 26]
Mortalité cardiovasculaire	159 [66 – 241]	80 [33 – 121]

Ainsi, sur la zone d'étude, le nombre total de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique sur les années 2001 et 2002 s'élève en moyenne à 212 décès par an dont 80 décès par mortalité cardiovasculaire et 16 décès par mortalité respiratoire. Cela représente 22 décès par an pour 100 000 habitants, dont 8,3 par mortalité cardiovasculaire et 1,7 par mortalité respiratoire.

##### Sur la morbidité hospitalière

Pour les admissions hospitalières pour motifs cardiovasculaires, le calcul est effectué sur l'ensemble de la population tous âges confondus et selon les saisons. Pour les admissions pour motifs respiratoires, le calcul est effectué pour la période estivale 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, agglomération lyonnaise, 2001-2002

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre de cas attribuables [intervalle de confiance à 95 %]	
	2001 et 2002	Moyenne annuelle (ou saisonnière)
<b>Morbidité respiratoire</b>		
- 15-64 ans (été)	34 [-17 – 88]	17 [-9 – 44]
- 65 ans et plus (été)	70 [35 – 125]	35 [17 – 62]
<b>Morbidité cardiovasculaire</b>		
- été	322 [187 – 459]	161 [93 – 229]
- hiver	492 [293 – 694]	246 [147 – 347]
<b>Morbidité cardiaque</b>		
- tous âges	96 [38 – 154]	48 [19 – 77]
- 65 ans et plus	91 [52 – 130]	45 [26 – 65]

L'ozone a montré l'impact le plus élevé sur la morbidité respiratoire chez les 65 ans et plus, alors que c'est le NO<sub>2</sub> pour la morbidité cardiovasculaire [annexe 5]. Pour les années 2001-2002, l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est en moyenne de 161 admissions hospitalières pour la saison estivale et 246 admissions pour la saison hivernale pour pathologies cardiovasculaires et de 35 admissions pour pathologies respiratoires chez les personnes de 65 ans et plus en été. Cela représente 42 admissions par an pour 100 000 habitants pour pathologies cardiovasculaires et 24 admissions pour 100 000 habitants pour pathologies respiratoires chez les personnes de 65 ans et plus. Le nombre de cas attribuables pour la morbidité respiratoire des 15-64 ans n'est pas significatif.

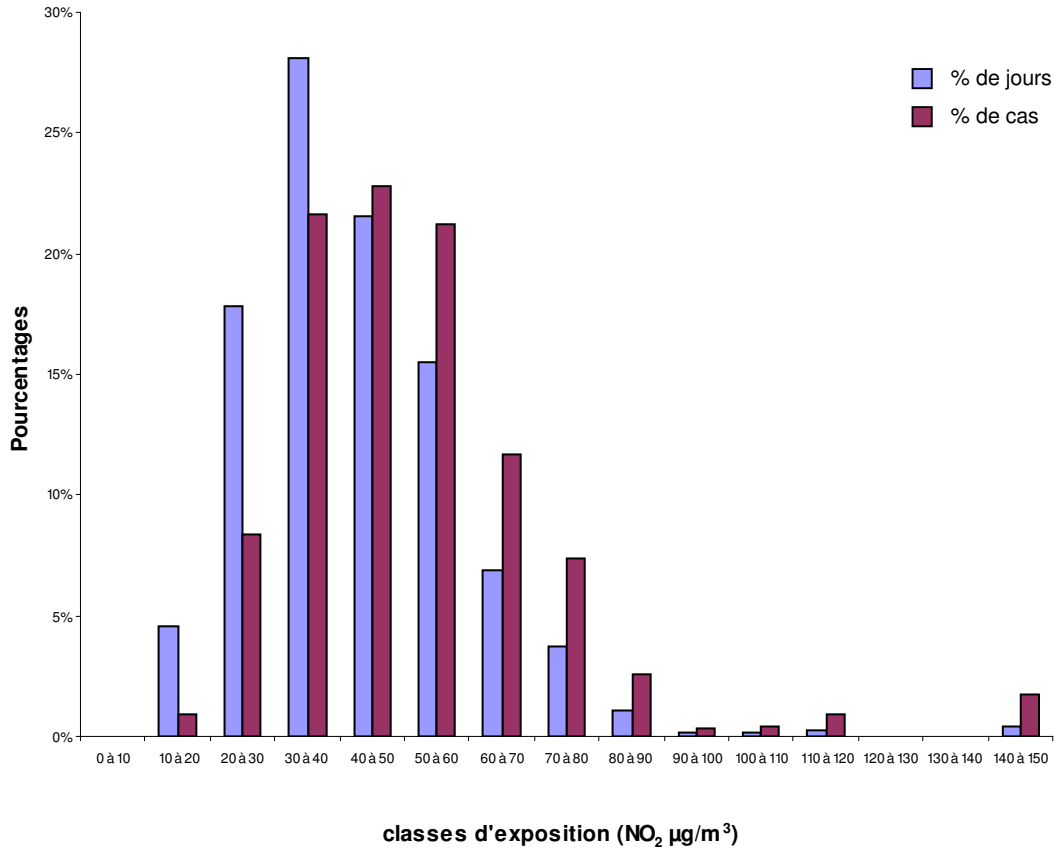
Les admissions hospitalières pour motif cardiaque attribuables à la pollution atmosphérique représentent 48 admissions par an, soit 5 admissions pour 100 000 habitants. Pour les personnes âgées de 65 ans et plus, ce nombre atteint 45 admissions, soit 31 pour 100 000 habitants.

#### 4.3.2. Impact sanitaire par niveaux de pollution

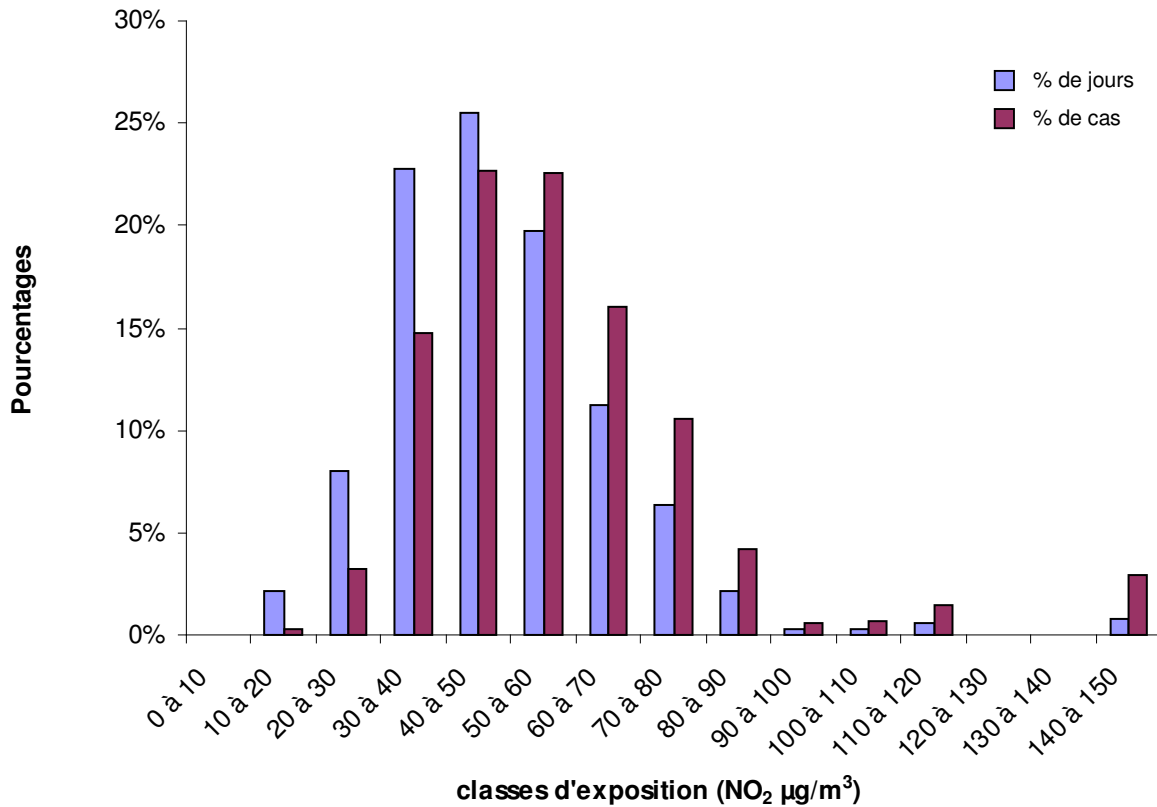
La répartition de l'impact sanitaire en fonction de chaque niveau d'exposition peut être représentée sous forme graphique.

Quel que 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. Par exemple, 2/3 à 3/4 de la mortalité attribuable à la pollution atmosphérique est expliquée par des niveaux de NO<sub>2</sub> inférieurs à 60 µg/m<sup>3</sup>. Ces résultats sont illustrés par deux exemples sur les figures 6 et 7.

**Figure 6.** Répartition en pourcentage des niveaux d'exposition journaliers au NO<sub>2</sub> et des décès toutes causes associées en fonction des classes d'exposition, agglomération lyonnaise, 2001-2002



**Figure 7.** Répartition en pourcentage des niveaux d'exposition journaliers au NO<sub>2</sub> et des admissions hospitalières pour motifs cardiovasculaires associées en fonction des classes d'exposition, agglomération lyonnaise, hivers 2001-2002



### 4.3.3. Gains sanitaires liés à une baisse de la pollution atmosphérique

Les gains sanitaires sont calculés pour chacun des deux scénarii différents :

*Scénario 1 : gain sanitaire potentiellement lié à la diminution des niveaux dépassant les valeurs limites prévues par le PPA de Lyon pour 2005 :*

- indicateur O<sub>3</sub> : le niveau de référence est de 110 µg/m<sup>3</sup> en maximum journalier des moyennes sur 8h
- indicateur NO<sub>2</sub> : le niveau de référence est de 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière
- indicateur PM10 : le niveau de référence est de 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière.

*Scénario 2 : gain sanitaire potentiellement lié à la diminution de 25 % de la moyenne journalière pour chaque polluant.*

#### **Gains sanitaires pour la mortalité anticipée**

Quel que soit l'indicateur sanitaire observé, le gain sanitaire potentiellement obtenu par le scénario 2 est toujours supérieur au gain sanitaire obtenu par le scénario 1 pour les années 2001 et 2002.

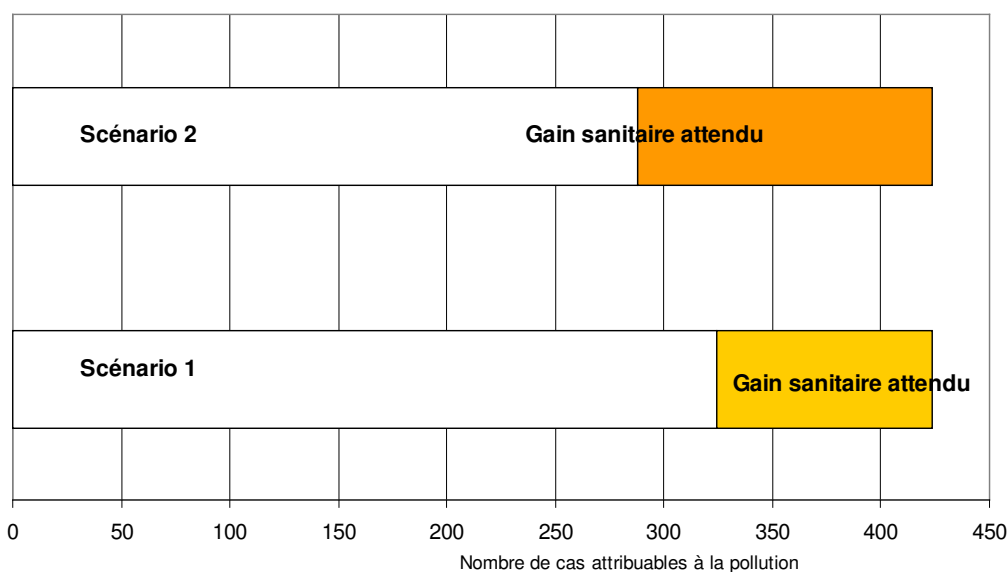
Ainsi, l'application du scénario 2 à la pollution atmosphérique montre un gain sanitaire sur la mortalité toutes causes de 32 % avec un nombre de décès anticipés potentiellement évitables égal à 68 décès annuels comparé à 50 décès avec le scénario 1.

Pour les mortalités respiratoire et cardiovasculaire anticipées, les gains sanitaires potentiellement obtenus avec le scénario 1 sont de 24 % alors qu'ils sont égaux à 31 % avec le scénario 2.

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

**Tableau 18.** Nombre de décès évitables suivant les scénarii de réduction de la pollution, agglomération lyonnaise, 2001-2002

Indicateurs sanitaires d'exposition		Nombre de décès évitables	
		Années 2001 et 2002	Moyenne annuelle
<b>Mortalité toutes causes</b>	- Scénario 1	99 [69 – 130]	50 [35 – 65]
	- Scénario 2	136 [95 – 178]	68 [48 – 88]
<b>Mortalité respiratoire</b>	- Scénario 1	8 [3 – 12]	4 [1 – 6]
	- Scénario 2	10 [4 – 17]	5 [2 – 8]
<b>Mortalité cardiovasculaire</b>	- Scénario 1	38 [16 – 57]	19 [8 – 28]
	- Scénario 2	51 [21 – 76]	25 [11 – 38]

**Figure 8.** Gains sanitaires attendus concernant la mortalité anticipée toutes causes, agglomération lyonnaise, 2001-2002


Scénario 1 : diminution des concentrations sous des valeurs de référence  
 Scénario 2 : diminution de 25 % des niveaux quotidiens de polluants

### Gains sanitaires pour la morbidité

Le gain sanitaire est équivalent pour les scénarii 2 et 1 de réduction de la pollution atmosphérique uniquement pour la morbidité cardiovasculaire en hiver. Cependant, pour la morbidité cardiovasculaire sur l'ensemble de l'année, comme pour les différents autres indicateurs de morbidité, les gains sanitaires sont plus importants lorsqu'on applique le scénario 2 de réduction de la pollution atmosphérique. Les résultats sont présentés pour chaque indicateur dans le tableau 19.

**Tableau 19.** Nombre d'admissions hospitalières potentiellement évitables suivant les scénarii de réduction de la pollution, agglomération lyonnaise, 2001-2002

		Nombre de cas évitables	
		Années 2001 et 2002	Moyenne annuelle (ou saisonnière)
<b>Morbidité respiratoire 65 ans et plus (été)</b>			
	- Scénario 1	7 [4 – 12]	4 [2 – 6]
	- Scénario 2	31 [15 – 54]	15 [8 – 27]
<b>Morbidité cardiovasculaire</b>			
Eté	- Scénario 1	41 [24 – 59]	21 [12 – 29]
	- Scénario 2	110 [64 – 155]	55 [32 – 78]
Hiver	- Scénario 1	150 [90 – 211]	75 [46 – 106]
	- Scénario 2	152 [91 – 213]	76 [46 – 106]

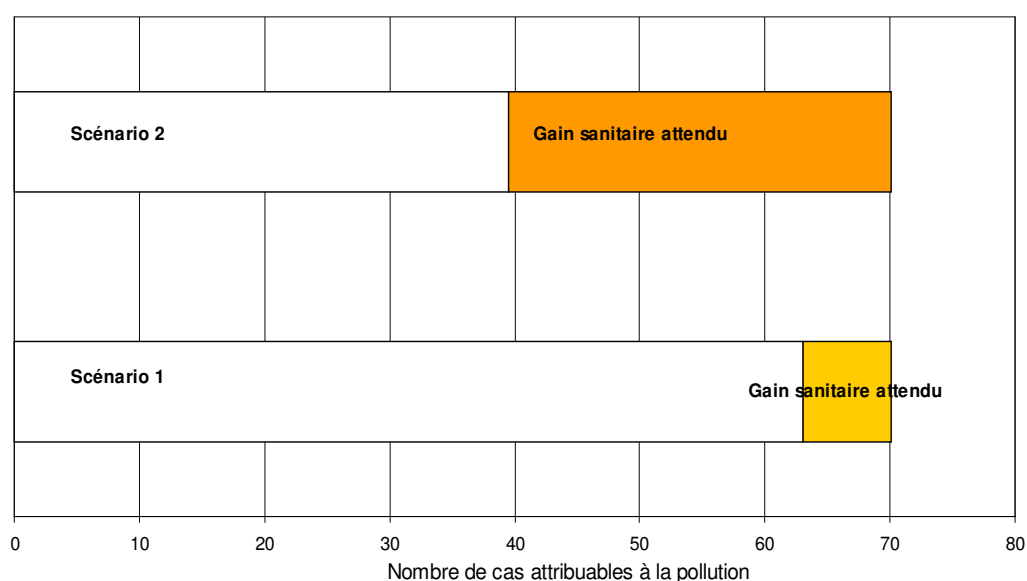
tableau 19 (suite)

**Morbidité cardiaque**

Tous âges	- Scénario 1	6 [2 – 9]	3 [1 – 5]
	- Scénario 2	41 [16 – 65]	20 [8 – 33]
65 ans et plus	- Scénario 1	6 [3 – 8]	3 [2 – 4]
	- Scénario 2	38 [22 – 55]	19 [11 – 27]

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

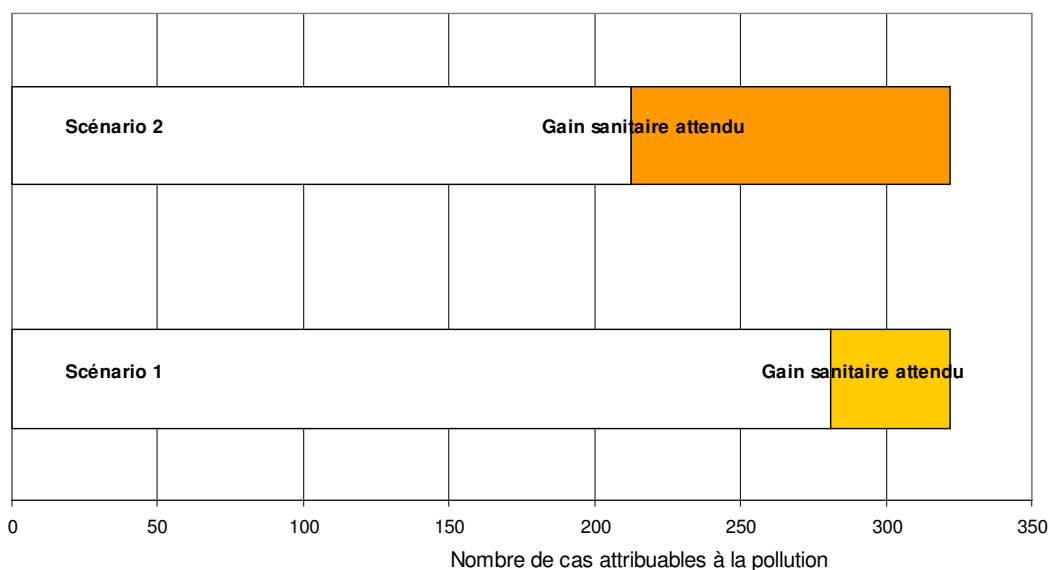
**Figure 9.** Gains sanitaires attendus concernant la morbidité respiratoire chez les sujets âgés de 65 ans et plus, agglomération lyonnaise, 2001-2002



Scénario 1 : diminution des concentrations sous des valeurs de référence  
 Scénario 2 : diminution de 25 % des niveaux quotidiens de polluants

Si l'application du scénario 1 ne permet qu'un gain sanitaire de 11 %, le gain sanitaire obtenu en appliquant le scénario 2 est de l'ordre de 43 %, avec 15 admissions hospitalières pour cause respiratoire évitables chez les personnes de plus de 65 ans chaque année.

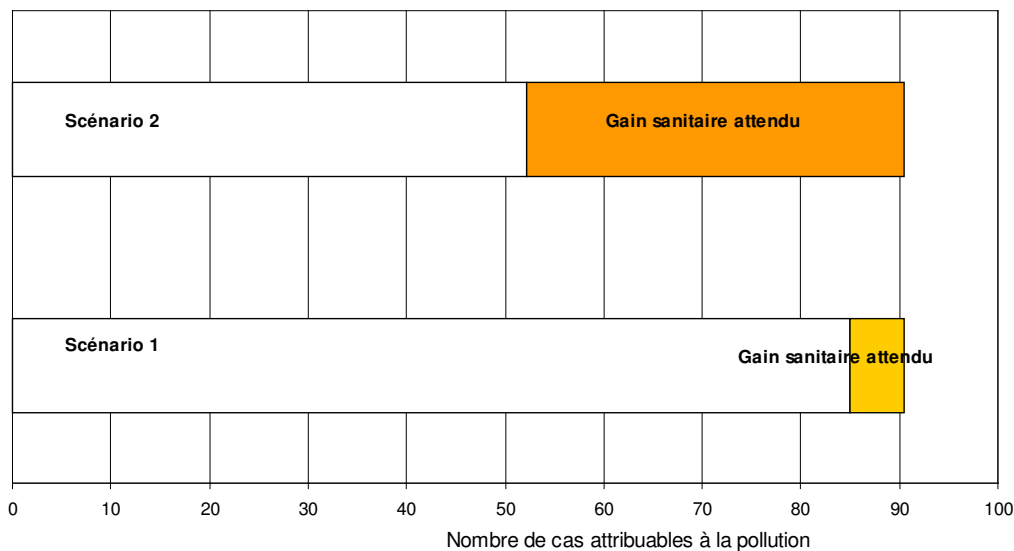
**Figure 10.** Gains sanitaires attendus concernant la morbidité cardiovasculaire en été, agglomération lyonnaise, 2001-2002



Scénario 1 : diminution des concentrations sous des valeurs de référence

Scénario 2 : diminution de 25 % des niveaux quotidiens de polluants

**Figure 11.** Gains sanitaires attendus concernant la morbidité cardiaque chez les sujets âgés de 65 ans et plus, agglomération lyonnaise, 2001-2002



Scénario 1 : diminution des pics sous des valeurs de référence

Scénario 2 : diminution de 25 % des niveaux quotidiens de polluants



#### 4.4. Estimation de l'impact sanitaire à long terme

L'estimation n'est réalisée que pour l'indicateur de pollution PM10.

Les niveaux de référence choisis pour les différents scénarii 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 de la santé 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 de 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 scénarii sont présentés dans le tableau 20.

**Tableau 20.** Nombre de décès toutes causes attribuables à la pollution atmosphérique pour les quatre scénarii de l'EIS long terme, agglomération lyonnaise, 2001-2002

	Nombre de décès	
	Années 2001 et 2002	Moyenne annuelle
Scénario 1 : gain sanitaire lié à la diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne de 2005 de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0 [0 – 0]	0 [0 – 0]
Scénario 2 : gain sanitaire lié à la diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne de 2010 de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	194 [118 – 274]	97 [59 – 137]
Scénario 3 : gain sanitaire lié à la diminution de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la moyenne annuelle	277 [168 – 391]	138 [84 – 195]
Scénario 4 : gain sanitaire lié à la diminution des niveaux de 25 %	309 [187 – 436]	154 [94 – 218]

Le gain sanitaire obtenu avec le premier scénario est nul puisque la moyenne annuelle en PM10 observée sur les données des années 2001 et 2002, égale à  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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 97 décès annuels évitables. Le scénario 3, qui consiste à diminuer la moyenne actuelle de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  permettrait un gain sanitaire, égal à 138 décès évitables. Enfin, une diminution de 25 % de la moyenne annuelle, permettant d'atteindre une moyenne annuelle de l'ordre de  $17,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , permettrait le meilleur gain sanitaire avec 154 décès évitables.

## 5. Discussion

Les résultats de l'estimation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans la zone d'étude de Lyon doivent être interprétés comme des ordres de grandeur de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé de la population. Il s'agit d'une estimation réalisée sur la base des données disponibles et des acquis scientifiques actuels qui sont en faveur d'un lien de causalité entre pollution atmosphérique, notamment particulaire, et santé [15, 18-20]. Un résultat, même incertain, obtenu par une mesure d'impact fondée sur les meilleures connaissances disponibles est plus reproductible et transparent qu'un jugement subjectif fondé sur des émotions ou des suppositions arbitraires [21, 22].

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 en utilisant les résultats de ces études.

Les résultats de cette étude doivent être interprétés en tenant compte des hypothèses, limites et incertitudes liées à la démarche d'une EIS qui peut entraîner une sur ou une sous-estimation de l'impact sanitaire.

### 5.1. Hypothèses, limites et incertitudes

L'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine sur la zone d'étude définie comprenant Lyon et 18 communes alentour a été menée suivant la méthodologie proposée par le guide de l'InVS [4], actualisé en mars 2003 [3]. Cette démarche est en effet aujourd'hui justifiée et recommandée par l'OMS [23]. Les quatre étapes de la démarche décrite dans le guide, identification des dangers, choix des relations exposition/risque, estimation de l'exposition et caractérisation du risque, vont être discutées.

#### 5.1.1. Identification des dangers

Cette première étape présente des limites qui ne permettent pas d'estimer totalement l'impact sanitaire 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, comme d'autres manifestations liées à la pollution atmosphérique, ne sont pas pris en compte alors qu'ils représentent une fraction importante de la morbidité respiratoire. L'EIS n'évalue que les effets graves comprenant les décès et hospitalisations. Nous ne disposons pas encore de relation fiable permettant d'estimer un impact moins sévère, représenté par les consultations aux urgences et en médecine de ville, les arrêts de travail, la consommation de traitements médicamenteux, la survenue de symptômes, les altérations de la fonction respiratoire, et l'existence de signes infra-cliniques ;
- les polluants retenus pour estimer l'exposition ne représentent qu'une infime partie des substances chimiques responsables de la pollution atmosphérique, même si ces indicateurs sont normalement représentatifs des autres (en dehors des polluants ayant un impact propre comme les cancérigènes) ;
- 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.

D'une manière générale, les limites présentes à cette étape de l'EIS conduisent donc à une sous-estimation de l'impact sanitaire global de la pollution atmosphérique.

### 5.1.2. Relations exposition/risque

Dans le domaine de la pollution atmosphérique, on dispose de relations fondées sur des observations épidémiologiques à des faibles niveaux d'exposition, ce qui ne nécessite pas d'extrapolation animal/homme, ni hautes doses / basses doses.

Les relations exposition / risque utilisées sont issues de la littérature et estimées à l'échelle de populations urbaines telle que peut l'être celle de l'agglomération lyonnaise. Cette dernière fait d'ailleurs partie du Psas-9, fournisseur d'une partie de ces relations. Quoiqu'il en soit, ces relations sont « sans seuil » : elles ne font pas apparaître de seuil en dessous duquel la pollution atmosphérique n'aurait plus aucun effet néfaste sur la santé des populations, à l'intérieur desquelles il existe toujours des groupes d'individus plus sensibles à un niveau de polluant, même faible. Cette approche « populationnelle » ne va donc pas à l'encontre de l'existence d'un seuil de sensibilité pour un individu donné, et les risques relatifs dans cette EIS doivent être interprétés comme des risques collectifs et non individuels.

Si une démarche d'EIS dans une zone donnée nécessite de recourir à des relations établies « ailleurs » sans pour autant être assuré de la validité de cette extrapolation (les indicateurs de pollution pouvant être les traceurs d'une pollution différente), l'utilisation des courbes exposition/risque obtenues lors des dernières études européenne (Apeha2) 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 pour la mortalité et les admissions pour motif respiratoire [12, 13] 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, les risques ont été estimés dans des populations américaines dans des conditions potentiellement différentes de celles rencontrées ici en terme de causes de mortalité, de composition de la pollution atmosphérique et de caractéristiques socio-démographiques. Toutefois, ce sont actuellement les seules disponibles et elles reposent sur des bases méthodologiques reconnues. Par ailleurs, les premières études européennes des effets à long terme semblent confirmer les résultats américains [24, 25].

### 5.1.3. Estimation de l'exposition

L'exposition est estimée au niveau de la population et non au niveau individuel. On attribue à l'ensemble des personnes séjournant sur la zone d'étude un même niveau d'exposition alors que chaque individu est, au cours d'une même journée, exposé à des niveaux de pollution variables.

Autrement dit, faute de disposer des niveaux réels d'exposition à la pollution atmosphérique, l'estimation de l'exposition de la population repose sur l'hypothèse selon laquelle la moyenne journalière des valeurs enregistrées par les capteurs sélectionnés constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles journalières de la population concernée.

Or, une partie de la population peut s'absenter de la zone d'étude au cours de la journée pour des raisons professionnelles ou personnelles. Cela conduit, dans ce cas, selon les niveaux de pollution atmosphérique de la zone d'attraction, à sur- ou sous-estimer l'impact sanitaire. A l'inverse, la zone d'étude peut, pour les mêmes raisons, attirer une population non résidente. Cela conduit cette fois à sous-estimer l'impact sanitaire réel puisque cette population ne résidant pas dans la zone d'étude, n'est pas comptabilisée dans les données de mortalité et d'activité hospitalière alors qu'elle est exposée à la pollution atmosphérique de la zone. Toutefois, cette sous-estimation est limitée par le choix de la zone d'étude qui tient compte des déplacements domicile-travail.

### 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.

L'erreur sur le dénombrement des effets sanitaires (mortalité, admissions hospitalières) est limitée par le recours à des grandes catégories de diagnostics (mortalité toute cause sauf accidentelle, hospitalisations pour toutes causes respiratoires ou cardiovasculaires).

Par contre, la non prise en compte des urgences dans le PMSI conduit à sous-estimer le nombre d'évènements sanitaires et donc l'impact de la pollution atmosphérique sur l'activité de soins hospitaliers, restreinte aux hospitalisations de plus de 24 heures. Cette sous-estimation est contrebalancée en prenant en compte toutes les hospitalisations sans pouvoir enlever les séjours programmés. Par ailleurs, le dénombrement, réalisé à partir des bases de données PMSI de l'InVS, n'a pas permis de comptabiliser les admissions dans les centres de santé qui ne participent pas au PMSI, comme l'hôpital d'instruction des armées de Desgenettes.

## 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.

L'EIS sur les effets survenant à court terme permet de calculer au cours d'une année un nombre de décès anticipés attribuables à un différentiel de pollution donné, c'est à dire liés aux dépassements des niveaux de polluants par rapport à des niveaux de référence. Ce calcul ne doit pas être interprété, à proprement parler, comme un excès absolu de mortalité. Le nombre de décès qui est calculé dans cette évaluation de l'impact sanitaire doit être interprété comme étant une estimation du nombre de personnes qui, au cours d'une année, ont vu leur espérance de vie diminuée d'une durée correspondant à cette anticipation et qui sont décédés « plus tôt que prévu » [9]. Pour la mortalité cardiovasculaire, elle est actuellement estimée à au moins deux mois [10].

En ce qui concerne la morbidité, seuls sont pris en compte les effets ayant nécessité une hospitalisation, alors que l'on peut penser que seule une modeste fraction de la population présentant des troubles respiratoires a recours au système hospitalier [26]. En ne prenant en compte que les effets sanitaires les plus graves de la pollution atmosphérique, l'EIS n'estime que partiellement l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique.

L'EIS à court terme estime les conséquences sur la santé de la pollution atmosphérique du jour même et de la veille, alors que l'EIS à long terme estime le nombre de décès attribuables à la moyenne annuelle des niveaux de pollution atmosphérique. Les polluants et les coefficients exposition / risque utilisés pour ces deux types d'évaluation sont issus d'études épidémiologiques comportant des méthodologies différentes. Finalement, les effets à court et à long terme de la pollution atmosphérique sur la santé, tels que ceux estimés dans cette étude, ne sont pas additionnables.

Les impacts estimés par indicateur de pollution (les relations exposition/risque correspondant à un indicateur d'exposition et un indicateur sanitaire) ne sont pas additifs dans la mesure où la population est exposée à un mélange de polluants pour lesquels aucun indicateur n'est totalement spécifique [27]. 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. En fait, les polluants mesurés ne sont que les traceurs de nombreuses autres substances, mesurées ou non, impliquées dans la pollution atmosphérique. Ainsi, un ensemble de chaînes de réactions complexes relie les polluants entre eux et les coefficients de corrélation élevés observés entre les quelques indicateurs de pollution mesurés en témoignent. Cette forte colinéarité entre indicateurs de pollution rend l'estimation de l'effet propre d'un polluant, au sein d'un modèle multi-polluants, quasiment impossible. C'est la raison pour laquelle des modèles mono-polluants sont utilisés. Les substances étudiées doivent alors être considérées comme des indicateurs d'une pollution atmosphérique urbaine globale [13].

La notion de risque attribuable doit donc s'entendre comme étant une estimation du risque associé à la pollution atmosphérique urbaine, facteur de risque dont les liens de causalité avec la santé sont de plus en plus fortement étayés, et qui est approché par la construction d'indicateurs de

pollution. En effet, même si le risque attribuable à la pollution ne signifie pas en pratique, stricto sensu, risque évitable, il est légitime de penser que la réduction des émissions liées à l'ensemble des sources s'accompagne d'une réduction globale des risques sanitaires associés.

Sous l'angle de la santé publique, une politique de réduction de risque ne peut donc être envisagée qu'à travers une approche globale, la pollution atmosphérique urbaine dans son ensemble constituant le facteur de risque à maîtriser.

## 6. Conclusion

L'EIS permet de comparer le gain sanitaire associé à différents scénarii d'évolution ou de réduction des émissions polluantes. Il est ainsi possible de comparer l'impact d'une diminution des niveaux quotidiens de pollution atmosphérique à celui d'une suppression des pointes de pollution. En pratique, cela permet d'illustrer qu'une politique locale de gestion des risques qui ne viserait qu'à éviter les dépassements de seuils réglementaires n'aurait qu'un impact marginal en terme de bénéfices sur la santé publique. La présentation des résultats en nombre de cas évités selon plusieurs options doit permettre une meilleure prise en compte de l'impact sanitaire dans le processus décisionnel et doit contribuer à fixer des objectifs de qualité de l'air en fonction d'objectifs de santé publique.

### 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 Lyon est estimée à 212 décès anticipés (dont 80 décès suite à une pathologie cardiovasculaire et 16 décès suite à une pathologie respiratoire).

Ces résultats montrent que même si les risques relatifs associés à la pollution atmosphérique sont faibles, la totalité de la population étant exposée, l'impact collectif sur la mortalité se révèle non négligeable.

### 6.2. Un impact sanitaire à long terme mesurable

Cette étude a permis d'estimer le nombre de décès attribuables à la pollution atmosphérique potentiellement évitables à long terme selon différents scénarii 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 permettrait d'éviter 97 décès sur la totalité des décès enregistrés sur une année. Il faut surtout noter qu'une diminution de 25 % de la moyenne des PM10 conduirait à un gain sanitaire potentiel de 154 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, voire d'urgence sanitaire. Cette étude montre que les effets sanitaires sont « sans seuil » et donc 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 32 % des effets sanitaires dus à la pollution atmosphérique.

Les actions les plus efficaces seront donc celles qui entraîneront une réduction des émissions à la source de façon quotidienne plutôt qu'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 et de nouvelles relations exposition-risque. 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 PPA sur l'agglomération lyonnaise.

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 communication des résultats de cette étude aux décideurs, aux médias et au public devrait permettre une meilleure sensibilisation aux dangers de la pollution atmosphérique à laquelle est exposée l'ensemble de la population, de dépasser la problématique des 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] Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. *Journal Officiel de la République Française du 1<sup>er</sup> janvier 1997*.
- [2] Décret n°98-362 du 6 mai 1998 relatif aux plans régionaux de la qualité de l'air. *Journal Officiel de la République Française du 13 mai 1998*.
- [3] Plan régional santé environnement en Rhône-Alpes. Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Rhône-Alpes. Novembre 2005.
- [4] Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Guide méthodologique, Institut de veille sanitaire. Juillet 1999.
- [5] Monitoring ambient air quality for health impact assessment. WHO Reg Publ Eur Ser. 1999;85:i-xvii, 1-196.
- [6] 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.
- [7] Base de données commune. Profil : recensement général de la population 1999. Institut national de la statistique et des études économiques.
- [8] Plan de protection de l'atmosphère de l'agglomération lyonnaise 2005/2010. Etat des lieux 2004. Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Rhône-Alpes.
- [9] Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. Psas-9 phase I. Institut de veille sanitaire. Mars 1999.
- [10] Schwartz J. Harvesting and long term exposure effects in the relation between air pollution and mortality. *Am J Epidemiol*. 2000 Mar 1;151(5):440-8.
- [11] Décret n°2002-213 du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites. *Journal Officiel de la République Française du 19 février 2002*.
- [12] Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopoli 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 APHEA2 project. *Epidemiology*. 2001 Sep;12(5):521-31.
- [13] Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. Psas-9 phase II. Institut de veille sanitaire. Juin 2002.
- [14] Spix C, Anderson HR, Schwartz J, Vigotti MA, Le Tertre A, Vonk JM, Touloumi G, 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 APHEA study results. *Air Pollution and Health: a European Approach*. Arch Environ Health. 1998 Jan-Feb;53(1):54-64.
- [15] 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 APHEA 2 project. *Air Pollution and Health: a European Approach*. Am J Respir Crit Care Med. 2001 Nov 15;164(10 Pt 1):1860-6.



- [16] 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.
- [17] Kunzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, Herry M, Horak F Jr, Puybonnieux-Textier V, Quenel P, Schneider J, Seethaler R, Vergnaud JC, Sommer H. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet*. 2000 Sep 2;356(9232):795-801.
- [18] Dab W., Ségala C, Dor F, et al. Pollution atmosphérique et santé : corrélation ou causalité ? Le cas de la relation entre l'exposition aux particules et la mortalité. *Pollution atmosphérique 2001 ; 170 : 210-235*.
- [19] Filleul L, Medina S, Cassadou S; Membres du Psas-9. [Atmospheric pollution and health: not patently obvious. and yet!] *Rev Epidemiol Sante Publique*. 2002 Jun;50(3):325-7.
- [20] Medina S. et al. ERPURS : Analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique et santé. Résultats 1991-1995. *Rapport d'étude de l'Observatoire Régional de Santé d'Ile de France. Paris, 1997*.
- [21] Krzyzanowski M. Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution. *Occup Environ Med*. 1997 Mar;54(3):145-51.
- [22] Goldstein BD. The need to restore the public health base for environmental control. *Am J Public Health*. 1995 Apr;85(4):481-3.
- [23] WHO. Quantification of health effects of exposure to air pollution. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2001 (EUR/01/5026342).
- [24] Janssen NA, Lanki T, Hoek G, et al. Associations between ambient, personal, and indoor exposure to fine particulate matter constituents in Dutch and Finnish panels of cardiovascular patients. *Occup Environ Med*. 2005 Dec;62(12):868-77.
- [25] WHO. Health aspects of air pollution – answers to follow-up question from CAFE. Report on a WHO working group meeting. Bonn (Germany), 15-16 January 2004. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2004 (EUR/04/5046026).
- [26] Institut Universitaire d'Hygiène et de Santé Publique de Grenoble. Evaluation du risque lié à la qualité de l'air dans la région Rhône-Alpes. Institut Universitaire d'Hygiène et de Santé Publique de Grenoble - Septembre 1998.
- [27] Réseau National de Santé Publique. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique : une démarche d'analyse de risque pour les plans régionaux de la qualité de l'air. *Réseau National de Santé Publique, Saint-Maurice*. Juin 1998.

## 8. Annexes

### Annexe 1. Navettes domicile-travail\*

Commune de provenance	Total déplacements	Lieu de résidence – lieu de travail	
		Déplacements dans la même commune	Déplacements dans la zone d'étude
Bron	13 835	4 156 (30 %)	11 100 (80 %)
Caluire-et-Cuire	17 241	3 667 (21 %)	14 251 (83 %)
Collonges-au-Mont-d'Or	1 533	241 (16 %)	1 154 (75 %)
Ecully	6 792	1 654 (24 %)	4 916 (72 %)
Fontaines-sur-Saône	2 815	405 (14 %)	2 007 (71 %)
Irigny	3 592	786 (22 %)	2 839 (79 %)
La Mulatière	2 731	383 (14 %)	2 181 (80 %)
Lyon 1 <sup>er</sup>	11 422	4 328 (38 %)	9 540 (84 %)
Lyon 2 <sup>ème</sup>	10 865	5 090 (47 %)	9 050 (83 %)
Lyon 3 <sup>ème</sup>	35 978	15 828 (44 %)	30 327 (84 %)
Lyon 4 <sup>ème</sup>	14 752	5 361 (36 %)	12 395 (84 %)
Lyon 5 <sup>ème</sup>	19 302	6 789 (35 %)	15 492 (80 %)
Lyon 6 <sup>ème</sup>	19 391	7 918 (41 %)	16 239 (84 %)
Lyon 7 <sup>ème</sup>	25 805	11 737 (45 %)	21 978 (85 %)
Lyon 8 <sup>ème</sup>	27 177	8 964 (33 %)	22 618 (83 %)
Lyon 9 <sup>ème</sup>	18 798	7 329 (39 %)	14 680 (78 %)
Oullins	10 562	2 202 (21 %)	8 508 (81 %)
Pierre-Bénite	4 039	1 174 (29 %)	3 324 (82 %)
Rillieux-la-Pape	10 694	3 255 (30 %)	8 600 (80 %)
Sainte-Foy-lès-Lyon	8 766	1 625 (19 %)	7 020 (80 %)
Saint-Fons	5 501	1 674 (30 %)	4 539 (83 %)
Saint-Genis-Laval	8 406	2 060 (25 %)	6 673 (79 %)
Saint-Priest	16 449	5 653 (34 %)	12 457 (76 %)
Tassin-la-Demi-Lune	6 770	1 382 (20 %)	4 954 (73 %)
Vaulx-en-Velin	12 600	4 288 (34 %)	10 168 (81 %)
Vénissieux	19 657	6 387 (32 %)	16 251 (83 %)
Villeurbanne	48 657	17 516 (36 %)	40 903 (84 %)
<b>Total</b>	<b>384 130</b>	<b>131 852 (34 %)</b>	<b>314 164 (82 %)</b>

\*Source : agence d'urbanisme de Lyon

## Annexe 2. Liste des établissements de soins inclus dans l'étude\*

N° Finess	Raison sociale	Localisation	Caractéristiques
690780648	Clinique de la Sauvegarde	Lyon	Clinique privée
690781810 <sup>†</sup>	Hospices Civils de Lyon	Lyon	Centre hospitalier public
690781836	Clinique mutualiste de Lyon	Lyon	PSPH <sup>‡</sup>
690782834	Clinique du Tonkin	Villeurbanne	Clinique privée
690793468	Infirmerie protestante	Caluire et Cuire	Clinique privée
690805361	Hôpital Saint-Joseph Saint-Luc	Lyon	PSPH
690780366	Clinique Charcot	Sainte-Foy-lès-Lyon	Clinique privée
690780416	Clinique mutualiste La Roseraie	Vénissieux	Clinique privée

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

<sup>†</sup> Numéro de l'entité juridique

<sup>‡</sup> **Etablissements de soins participant au service public hospitalier**

### Annexe 3. Distribution des concentrations des indicateurs d'exposition

#### Distribution des concentrations de NO<sub>2</sub> en µg/m<sup>3</sup> par station, agglomération lyonnaise, 2001-2002

	Croix-Luizet	Saint-Just	Gerland
Nombre	692	685	707
Minimum	13	6	9
Percentile 5	20	16	19
Percentile 25	31	27	32
Médiane	40	39	42
Percentile 75	50	51	53
Percentile 95	66	73	75
Maximum	134	163	151
Moyenne journalière	42	41	44
Ecart-Type	15,8	19,3	17,9
% Valeurs manquantes	5 %	6 %	3 %

#### Distribution des concentrations de SO<sub>2</sub> en µg/m<sup>3</sup> par station, agglomération lyonnaise, 2001-2002

	Saint-Just	Croix-Rousse	Montchat	Gerland	Point du Jour	Croix-Luizet
Nombre	696	709	616	712	634	710
Minimum	0	0	0	0	0	0
Percentile 5	0	0	0	0	0	0
Percentile 25	1	1	2	1	2	0
Médiane	4	4	4	5	4	1
Percentile 75	9	9	9	11	7	4
Percentile 95	24	21	16	24	18	11
Maximum	87	58	48	78	84	39
Moyenne journalière	7	6	6	8	6	3
Ecart-Type	9,5	7,5	6,3	9,1	7,5	4,3
% Valeurs manquantes	5 %	3 %	16 %	2 %	13 %	3 %

**Distribution des concentrations en PM10 en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  par station, agglomération lyonnaise, 2001-2002**

	<b>Croix-Luizet</b>	<b>Bossuet-Garibaldi</b>
Nombre	714	700
Minimum	5	6
Percentile 5	10	13
Percentile 25	15	17
Médiane	20	23
Percentile 75	27	30
Percentile 95	41	42
Maximum	109	105
Moyenne journalière	22	25
Ecart-Type	11,5	10,8
% Valeurs manquantes	2 %	4 %

**Distribution des concentrations d'ozone en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  par station, agglomération lyonnaise, étés 2001 et 2002**

	<b>Saint-Just</b>	<b>Gerland</b>	<b>Croix-Luizet</b>	<b>Saint-Priest</b>
Nombre	362	354	365	361
Minimum	26	21	19	20
Percentile 5	46	44	38	50
Percentile 25	66	67	58	73
Médiane	87	84	76	91
Percentile 75	109	106	95	110
Percentile 95	145	141	133	148
Maximum	209	201	186	197
Moyenne journalière	90	87	80	94
Ecart-Type	30,8	29,7	28,4	29,6
% Valeurs manquantes	1 %	3 %	0 %	1 %

## Annexe 4. Corrélations entre les stations de mesure retenues

**Coefficients de corrélation entre les stations de mesure retenues pour la construction de l'indicateur d'exposition de référence, agglomération lyonnaise, 2001-2002**

<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>Croix-Luizet</b>	<b>Saint-Just</b>	<b>Gerland</b>
Croix-Luizet	1	0,86	0,86
Saint-Just	0,86	1	0,91
Gerland	0,86	0,91	1

<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>Saint-Just</b>	<b>Croix-Rousse</b>	<b>Montchat</b>	<b>Gerland</b>	<b>Point du Jour</b>	<b>Croix-Luizet</b>
Saint-Just	1	0,93	0,72	0,95	0,87	0,69
Croix-Rousse	0,93	1	0,70	0,92	0,80	0,66
Montchat	0,72	0,70	1	0,77	0,65	0,79
Gerland	0,95	0,92	0,77	1	0,85	0,69
Point du Jour	0,87	0,80	0,65	0,85	1	0,62
Croix-Luizet	0,69	0,66	0,79	0,69	0,62	1

<b>PM10</b>	<b>Croix-Luizet</b>	<b>Bossuet-Garibaldi</b>
Croix-Luizet	1	0,95
Bossuet-Garibaldi	0,95	1

<b>O<sub>3</sub></b>	<b>Saint-Just</b>	<b>Gerland</b>	<b>Croix-Luizet</b>	<b>Saint-Priest</b>
Saint-Just	1	0,97	0,95	0,95
Gerland	0,97	1	0,95	0,95
Croix-Luizet	0,95	0,95	1	0,95
Saint-Priest	0,95	0,95	0,95	1

## Annexe 5. Résultats détaillés des impacts sanitaires

### Nombre de décès anticipés par polluant pour chaque indicateur sanitaire et chaque saison étudiés, agglomération lyonnaise, 2001-2002

Indicateurs sanitaires d'exposition		Nombre de cas attribuables	
		Années 2001 et 2002	Moyenne annuelle
Mortalité toutes causes	O <sub>3</sub> été	218 [93 – 315]	109 [46 – 157]
	NO <sub>2</sub> année	424 [295 – 553]	212 [148 – 277]
	SO <sub>2</sub> année	18 [8 – 28]	9 [4 – 14]
	PM10 année	109 [73 – 146]	55 [36 – 73]
Mortalité respiratoire	O <sub>3</sub> été	20 [10 – 32]	10 [5 – 16]
	NO <sub>2</sub> année	32 [12 – 53]	16 [6 – 26]
	SO <sub>2</sub> année	1 [0 – 2]	0,5 [0,1 – 1,0]
Mortalité cardiovasculaire	O <sub>3</sub> été	103 [37 – 172]	52 [18 – 86]
	NO <sub>2</sub> année	159 [66 – 241]	80 [33 – 121]
	SO <sub>2</sub> année	4 [2 – 6]	2 [1 – 3]

### Nombre d'admissions hospitalières par polluant pour chaque pathologie et chaque saison étudiées, agglomération lyonnaise, 2001-2002

Indicateurs sanitaires d'exposition		Nombre de cas attribuables	
		Années 2001 et 2002	Moyenne annuelle
Morbidité respiratoire 15-64 ans	O <sub>3</sub> été	34 [-17 – 88]	17 [-9 – 44]
	NO <sub>2</sub> année	24 [-36 – 85]	12 [-18 – 43]
	SO <sub>2</sub> année	0,9 [-0,9 – 2,3]	0,5 [-0,5 – 1,1]
Morbidité respiratoire 65 ans et plus	O <sub>3</sub> été	70 [35 – 125]	35 [17 – 62]
	NO <sub>2</sub> année	53 [-52 – 161]	27 [-26 – 81]
	SO <sub>2</sub> année	2,0 [0,5 – 4,5]	1,0 [0,3 – 2,3]
	PM10 année	51 [34 – 73]	25 [17 – 37]
Morbidité cardiovasculaire	NO <sub>2</sub> été	322 [187 – 459]	161 [93 – 229]
	NO <sub>2</sub> hiver	492 [293 – 694]	246 [147 – 347]
	SO <sub>2</sub> hiver	35,4 [16,3 – 54,7]	17,7 [8,2 – 27,3]
Morbidité cardiaque tous âges	PM10 année	96 [38 – 154]	48 [19 – 77]
Morbidité cardiaque 65 ans et plus	PM10 année	91 [52 – 130]	45 [26 – 65]







L'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération lyonnaise s'inscrit dans le cadre de l'élaboration du Plan de Protection de l'atmosphère de la ville de Lyon, lancé en 2003. Celui-ci fait suite à l'achèvement du plan régional pour la qualité de l'air 2001-2005. Ce dernier fixe les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique, en s'appuyant notamment sur une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé des populations.

Dans cette étude, l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique est calculé en terme de mortalité anticipée et de morbidité (admissions hospitalières) attribuables à la pollution atmosphérique. 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 compte tenu de critères définis. Elle comprend Lyon et 18 communes périphériques, soit une population totale de 963 248 habitants (recensement de 1999).

La période d'étude couvre les années 2001 et 2002.

Cette étude repose sur les principes méthodologiques de l'EIS de la pollution atmosphérique urbaine dont la méthodologie comprend 4 étapes : identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition/risque et caractérisation du risque.

Les indicateurs de pollution atmosphérique retenus sont construits à partir de quatre polluants mesurés en routine sur la zone : NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et PM10, pour lesquels les relations exposition/risque utilisées sont issues d'études épidémiologiques réalisées en population générale, en privilégiant les études multicentriques et européennes. Un indicateur journalier des niveaux de polluants a été calculé pour chacun des indicateurs retenus.

Le nombre total de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique pour les années 2001 et 2002 s'élève à 424 décès, dont 159 par pathologie cardiovasculaire et 32 par pathologie respiratoire, ce qui représente 22 décès par an pour 100 000 habitants, dont 8 par mortalité cardiovasculaire et 2 par mortalité respiratoire. Le calcul des gains sanitaires associés à différents scénarii de réduction de la pollution atmosphérique montre que les plus efficaces sont ceux qui correspondent à des diminutions de 25 % des niveaux journaliers du polluant considéré sur toute la période d'étude.

Concernant les gains sanitaires à long terme, en 2001 et 2002 la norme européenne prévue pour 2005 (40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle) était d'ores et déjà respectée pour les concentrations en PM10. Le respect de la norme européenne prévue en 2010 aurait permis d'éviter 97 décès sur la totalité des décès enregistrés sur une année. De nouveau, le scénario le plus efficace est celui qui correspond à une diminution de 25 % de la moyenne annuelle d'exposition au polluant considéré (PM10), permettant d'éviter 154 décès par an.

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. Par conséquent, une réduction des émissions à la source de façon quotidienne est préférable à un contrôle des pics annuels de pollution effectué.