

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



Etude réalisée par la Cellule interrégionale d'épidémiologie Rhône-Alpes, Lyon :

Alexandra THABUIS, Evelyne FOURNIER

Ont contribué à cette étude :

Direction départementale des affaires sanitaires et sociales de l'Isère, Grenoble :

Agnès ALEXANDRE-BIRD (service santé-environnement)

Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Rhône-Alpes, Lyon :

Philippe LAPERROUSE, Stéphanie LEMERLE (service statistique)

Ascoparg (Surveillance de la qualité de l'air en région grenobloise), Grenoble :

Marie-Blanche PERSONNAZ, Nicolas VIGIER

Photo couverture : Ascoparg

Résumé

L'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique urbaine sur l'agglomération de Grenoble s'inscrit dans le cadre de l'élaboration du Plan de protection de l'atmosphère (PPA), dont l'objectif est de mettre en œuvre un plan de réduction des émissions afin de respecter les limites réglementaires et de minimiser ainsi l'impact sanitaire. Dans cette étude, l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique est calculé en termes de mortalité anticipée et de morbidité (admissions hospitalières). L'impact sanitaire à long terme est estimé par le nombre de décès attribuables à la pollution atmosphérique.

La zone d'étude est composée des 45 communes du PPA, qui représentent une population totale de 459 001 habitants et qui correspond à une zone urbaine où l'exposition de la population à la pollution atmosphérique de fond peut être considérée comme homogène. La période d'étude s'étend sur l'année tropique 1999-2000 (du 1/10/1999 au 30/09/2000), qui peut être considérée comme « standard » en terme de pollution.

Cette étude repose sur la méthodologie de l'EIS de la pollution atmosphérique urbaine proposée par l'Institut de veille sanitaire (InVS), qui se déroule en quatre étapes : identification des dangers, choix des relations exposition-risque, estimation de l'exposition et caractérisation du risque. Les indicateurs de pollution retenus sont construits à partir des quatre polluants mesurés en routine sur la zone : dioxyde de soufre (SO₂), dioxyde d'azote (NO₂), ozone (O₃) et particules (PM₁₀). Les relations exposition-risque utilisées sont issues d'études épidémiologiques réalisées en population générale, en privilégiant les études multicentriques et européennes.

L'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique sur l'année tropique 1999-2000 s'élève à 67 [47-87]¹ décès anticipés (dont 25 [10-38] de cause cardio-vasculaire et 7 [3-11] de cause respiratoire), 18 [9-32] admissions hospitalières pour motif respiratoire, 105 [62-147] admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire en hiver et 58 [34-82] en été. Les différents scénarios de réduction de la pollution atmosphérique montrent que les gains sanitaires les plus importants sont obtenus avec une diminution de 25 % du niveau moyen annuel de pollution.

L'impact sanitaire à long terme de la pollution atmosphérique s'élève à 155 [93-221] décès annuels. Les différents scénarios de diminution de la pollution atmosphérique montrent que la norme européenne applicable en 2005 est d'ores et déjà respectée. Le respect de la norme européenne prévue en 2010 devrait cependant entraîner un gain sanitaire de 28 % ; quant à une diminution de 25 % du niveau moyen annuel de pollution, elle entraînerait un gain sanitaire de 42 %.

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 non négligeable. Elle montre également que les effets sanitaires apparaissent déjà à des niveaux de pollution bien inférieurs à ceux pour lesquels les mesures de gestion sont prises actuellement et que les actions les plus efficaces seraient donc celles qui associeraient une réduction des émissions à la source de façon quotidienne à une diminution importante du nombre de pics annuels de pollution.

¹ Les chiffres entre crochets correspondent aux intervalles de confiance à 95%

Abréviations et symboles

Aphea	Air pollution and health : a European approach
Ascoparg	Association pour le contrôle et la prévention de l'air en région grenobloise
CépiDC	Centre épidémiologique des causes de décès
Cim	Classification internationale des maladies
Cire	Cellule interrégionale d'épidémiologie
Citepa	Centre interprofessionnel d'étude de la pollution atmosphérique
Ddass	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
Drass	Direction régionale des affaires sanitaires et sociales
EIS	Evaluation d'impact sanitaire
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
OMS	Organisation mondiale de la santé
PDU	Plan de déplacements urbains
PPA	Plan de protection de l'atmosphère
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
Rum	Résumé d'unité médicale
RSA	Résumé de sortie anonymisé
BT	Benzène Toluène
CO	Monoxyde de carbone
COVNM	Composés organiques volatils non méthaniques
FN	Fumées noires
NO	Monoxyde d'azote
NO ₂	Dioxyde d'azote
NO _x	Oxydes d'azote
O ₃	Ozone
PM ₁₀	Particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
SO ₂	Dioxyde de soufre

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	9
2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	11
2.1. MÉTÉOROLOGIE ET TOPOGRAPHIE	11
2.1.1. Topographie.....	11
2.1.2. Climat.....	12
2.2. POPULATION ET DÉPLACEMENTS	12
2.2.1. Nombre d'habitants et densités de population	12
2.2.2. Déplacements domicile-travail.....	14
2.3. SOURCES DE POLLUTION	15
2.4. SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR	15
2.5. SYNTHÈSE DES CRITÈRES DE SÉLECTION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	17
3. MATÉRIEL ET MÉTHODE DE L'EIS.....	19
3.1. IDENTIFICATION DES DANGERS.....	19
3.1.1. Effets à court terme	19
3.1.2. Effets à long terme	19
3.2. CHOIX DES RELATIONS EXPOSITION-RISQUE	19
3.2.1. Court terme.....	20
3.2.2. Long terme.....	21
3.3. ESTIMATION DE L'EXPOSITION.....	21
3.4. CARACTÉRISATION DU RISQUE	22
3.4.1. Principe du calcul.....	22
3.4.2. Recueil des données sanitaires.....	23
4. RÉSULTATS DE L'EIS.....	25
4.1. DÉFINITION DE LA PÉRIODE D'ÉTUDE.....	25
4.2. ESTIMATION DE L'EXPOSITION.....	25
4.2.1. Choix des polluants	25
4.2.2. Sélection des stations.....	25
4.2.3. Construction des indicateurs d'exposition	26
4.3. INDICATEURS SANITAIRES	29
4.3.1. Mortalité	29
4.3.2. Admissions hospitalières	29
4.4. CARACTÉRISATION DU RISQUE	30
4.4.1. Estimation de l'impact sanitaire à court terme.....	30
4.4.1.1. <i>Impact sanitaire total (scénario 1)</i>	30
4.4.1.2. <i>Impact sanitaire par niveaux de pollution</i>	31
4.4.1.3. <i>Gain sanitaire lié à une diminution des niveaux dépassant les valeurs réglementaires en vigueur pour chaque polluant (scénario 2)</i>	32
4.4.1.4. <i>Gain sanitaire lié à une réduction de 25 % de la moyenne annuelle pour chaque polluant (scénario 3)</i>	32
4.4.1.5. <i>Comparaison aux résultats du Psas-9 (phase II)</i>	33
4.4.2. Estimation de l'impact sanitaire à long terme.....	34
4.4.2.1. <i>Impact sanitaire total</i>	34
4.4.2.2. <i>Gains sanitaires attendus pour 4 scénarios de réduction de la pollution atmosphérique</i>	34
5. DISCUSSION.....	35
5.1. HYPOTHÈSES, LIMITES ET INCERTITUDES DE L'EIS	35
5.1.1. Identification des dangers.....	35

5.1.2. Choix des relations exposition-risque.....	35
5.1.3. Estimation de l'exposition	36
5.1.4. Recueil des Indicateurs sanitaires.....	36
5.1.5. Caractérisation du risque.....	36
5.2. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	37
6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	39
6.1. UN IMPACT COLLECTIF NON NÉGLIGEABLE.....	39
6.2. UN IMPACT DÛ AUX NIVEAUX HABITUELS PLUTÔT QU'AUX PICS DE POLLUTION ...	39
6.3. DES RÉSULTATS À ENRICHIR ET À COMMUNIQUER.....	40
7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	41
ANNEXE 1 : PRINCIPALES VOIES DE COMMUNICATION DANS LA ZONE D'ÉTUDE [3]	43
ANNEXE 2 : PRINCIPALES SOURCES D'ÉMISSIONS INDUSTRIELLES DANS LA ZONE D'ÉTUDE [3].....	43
ANNEXE 3 : EMBLACEMENT DES STATIONS DE MESURE DE LA QUALITÉ DE L'AIR [3]	45
ANNEXE 4 : DISTRIBUTION DES IMMISSIONS POLLUANTES URBAINES	47
ANNEXE 5 : NOMBRES DE CAS ANNUELS ATTRIBUABLES POUR CHAQUE INDICATEUR SANITAIRE ET CHAQUE INDICATEUR D'EXPOSITION ÉTUDIÉS	51

1. Introduction

La Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 [1] reconnaît le droit à chacun de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Elle vise à prévenir, surveiller, réduire ou supprimer les pollutions atmosphériques de façon à préserver la qualité de l'air. Pour atteindre cet objectif, elle prévoit trois outils de gestion de la qualité de l'air :

- le Plan régional pour la qualité de l'air (PRQA) [2], qui fixe les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique et permettant de respecter sur le long terme les objectifs de qualité de l'air fixés par la réglementation ;
- le Plan de déplacements urbains (PDU), dont l'objectif est de coordonner tous les modes de déplacement et de promouvoir les modes les moins polluants et consommateurs d'énergie ;
- le Plan de protection de l'atmosphère (PPA) [3], qui fixe des objectifs de réduction de pollution atmosphérique et détermine les mesures à mettre en œuvre ainsi que les délais pour y parvenir.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'élaboration du PPA de Grenoble ; elle a pour objectif de quantifier l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique au niveau de la zone définie par le PPA.

La méthodologie utilisée est l'évaluation de l'impact sanitaire (EIS), qui s'appuie sur l'utilisation optimale des connaissances scientifiques et des données disponibles. L'Institut de Veille Sanitaire (InVS) a rédigé en 1999 un guide méthodologique à cet effet [4]. En attendant l'actualisation du guide, l'InVS a émis en 2003 des recommandations provisoires, permettant notamment la réalisation d'EIS long terme [5].

Cette étude a donc pour objet d'estimer :

- l'impact à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité et sur les admissions hospitalières pour motifs respiratoires, cardiaques et cardiovasculaires, ainsi que le gain sanitaire apporté par différents scénarios de réduction de la pollution de l'air, afin d'orienter les décisions pouvant avoir une influence sur la qualité de l'air ;
- l'impact à long terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité, et le gain sanitaire apporté par 4 scénarios de réduction de la pollution atmosphérique.

2. Description de la zone d'étude

La zone définie dans le PPA est composée de 45 communes, comprenant le territoire de la communauté d'agglomération de Grenoble Alpes Métropole (26 communes) augmenté des communes dont les émissions ponctuelles peuvent avoir une influence directe sur l'agglomération. Cette zone constitue la deuxième agglomération de la région Rhône-Alpes derrière Lyon. Elle regroupait au dernier recensement 41 % de l'Isère en terme de population, soit 459 001 personnes.

La zone retenue *a priori* pour l'EIS est l'ensemble des communes appartenant au PPA. Le choix de la zone définitive sera validé en fonction des différents critères ci-dessous :

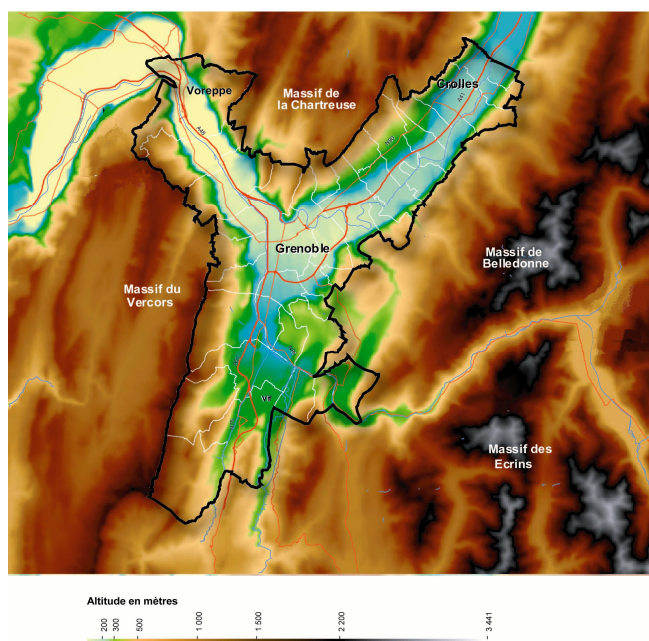
- continuité urbaine des communes de la zone avec le centre ville ;
- population séjournant la majorité de son temps dans la zone ;
- exposition ambiante homogène dans la zone (répartition des émissions polluantes) ;
- connaissance de la qualité de l'air suffisante pour attribuer un niveau moyen de pollution dans la zone.

2.1. Météorologie et topographie

2.1.1. Topographie

L'agglomération Grenobloise est située au confluent du Drac et de l'Isère dans une plaine alluviale dont l'altitude moyenne est d'environ 200 mètres. Elle est entourée par des massifs montagneux : au nord le Massif de la Chartreuse, à l'ouest le Massif du Vercors et à l'Est celui de Belledonne. L'agglomération s'étend longuement vers le sud-est (vallée du Drac), bordée par le Vercors et Belledonne [6].

Figure 1. Relief de l'agglomération Grenobloise [3]



2.1.2. Climat

De par la présence des montagnes et l'éloignement avec les surfaces maritimes, le climat est à tendance continentale avec de forts contrastes thermiques entre les saisons (hiver froid et été chaud). La zone subit des influences du climat montagnard au sud-est et du climat continental au nord-ouest.

La température annuelle moyenne est de 11,9°C, avec un contraste été/hiver de 18,9°C. Les pluies y sont plus abondantes que dans le reste de la France (1007 mm de pluie en moyenne annuelle, associés à environ 110 jours de pluie). Grenoble et son agglomération bénéficient par ailleurs d'un ensoleillement généreux (2010 heures d'ensoleillement annuel), autant que certaines villes situées plus au sud [3,7].

La situation particulière de la topographie de la vallée grenobloise génère des régimes de vents complexes.

On observe un vent synoptique de secteur sud/sud-est d'octobre à février. Des rafales sud/sud-ouest sont peu fréquentes mais peuvent être violentes. De mars à septembre, c'est un vent synoptique de secteur nord/nord-ouest qui balaie la zone. Le massif de Belledonne constitue un obstacle aux vents d'est et de sud-est.

Au cours des périodes anticycloniques, des vents thermiques dues à l'action thermique des reliefs se mettent en place le long de ceux-ci et créent des vents de 2-3 m/s sur les versants de vallées. Des conditions anticycloniques stables favorisent l'apparition d'épisodes de pollution.

En cas de vent synoptique faible, ce sont ces vents thermiques localisés qui prédominent, avec des effets différents selon la période de la journée (jour/nuit). Le jour, le vent vient du nord et pousse le panache vers le sud. La nuit, le vent souffle du sud vers le nord de l'agglomération [3].

67 % des vents sont calmes (vitesse inférieure à 1 mètre/seconde). Ces vents faibles en basse couche empêchent le mélange des polluants. Par ailleurs, la configuration topographique de la vallée favorise la formation fréquente d'inversions de températures, obstacles à la dispersion verticale des polluants¹ Enfin, la configuration "en cuvette" de l'agglomération favorise également l'accumulation des polluants [3].

2.2. Population et déplacements

2.2.1. Nombre d'habitants et densités de population

Au recensement 1999 [8], les 45 communes concernées regroupent 459 001 habitants pour une surface d'environ 474 km². La densité globale est de 969 hab/km².

Les communes ayant une densité de population plus faible sont des communes dans laquelle la population est souvent regroupée sur une petite partie du territoire communal, au flanc des montagnes.

Tableau 1. Population, superficie et densité de population des communes de la zone d'étude [8]

Commune	Population sans double compte	Superficie (km ²)	Densité (habitants/km ²)
Bernin	2 906	7,7	379
Biviers	2 385	6,2	387
Bresson	738	2,8	265
Champagnier	961	6,6	145
Champ près Frogès (Le)	1 159	4,8	240
Champ sur Drac	3 262	8,9	366
Claix	7 389	24,1	306
Corenc	3 842	6,5	591
Crolles	8 253	14,2	581
Domène	6 413	5,3	1212
Echirolles	32 811	7,9	4174
Eybens	9 473	4,5	2105
Fontaine	23 323	6,7	3460
Fontanil Cornillon	2 454	5,5	446
Frogès	3 090	6,4	481
Gières	6 131	6,9	885
Grenoble	153 426	18,1	8463
Gua (Le)	1 716	28,5	60
Jarrie	4 010	13,3	302
Lumbin	1 459	6,8	216
Meylan	18 730	12,3	1520
Montbonnot Saint Martin	3 828	6,4	600
Murianette	617	6,1	102
Notre Dame de Mésage	1 201	4,5	265
Noyarey	2 103	16,9	125
Pierre (La)	390	3,3	118
Poisat	2 079	2,6	812
Pont de Claix (Le)	11 604	5,5	2110
Saint Egrève	15 510	10,9	1426
Saint Ismier	5 922	14,9	397
Saint Martin d'Hères	35 769	9,3	3863
Saint Martin le Vinoux	5 191	10,1	516
Saint Nazaire les Eymes	2 337	8,5	275
Saint Paul de Varcès	1 845	19,7	94
Sassenage	9 726	13,3	731
Seyssinet-Pariset	13 074	10,7	1228
Seyssins	6 844	8,0	856
Tronche (La)	6 452	6,4	1005
Varces Allières et Risset	5 342	20,9	256
Versoud (Le)	3 814	6,4	601
Veurey Voroize	1 316	12,2	108
Vif	6 478	28,3	229
Villard-Bonnot	6 955	5,8	1191
Vizille	7 442	10,5	708
Voreppe	9 231	28,7	322
Ensemble zone d'étude	459 001	474	969

La répartition par tranches d'âge de la population est présentée dans le tableau 2.

Tableau 2. Répartition par tranche d'âge de la population de la zone d'étude [8]

Tranches d'âge	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	30 ans et +
Ensemble zone d'étude	79 162	316 759	63 080	265 101
%	17,2	69,0	13,7	57,8

2.2.2. Déplacements domicile-travail

Tableau 3. Navettes domicile-travail de la population de la zone d'étude [8]

Communes de la zone d'étude	Population	Actifs ayant un emploi	Actifs travaillant dans une commune de la zone d'étude			Population quittant la zone d'étude pour aller travailler		
			Effectif	% actifs	% pop.	Effectif	% actifs	% pop.
Bernin	2 906	1 235	1 133	91,7%	39,0%	102	8,3%	3,5%
Biviers	2 385	935	848	90,7%	35,6%	87	9,3%	3,6%
Bresson	738	366	339	92,6%	45,9%	27	7,4%	3,7%
Champagnier	961	426	410	96,2%	42,7%	16	3,8%	1,7%
Champ près Froges (Le)	1 159	540	466	86,3%	40,2%	74	13,7%	6,4%
Champ sur Drac	3 262	1 375	1 300	94,5%	39,9%	75	5,5%	2,3%
Claix	7 389	3 262	3 095	94,9%	41,9%	167	5,1%	2,3%
Corenc	3 842	1 388	1 263	91,0%	32,9%	125	9,0%	3,3%
Crolles	8 253	3 660	3 332	91,0%	40,4%	328	9,0%	4,0%
Domène	6 413	2 647	2 475	93,5%	38,6%	172	6,5%	2,7%
Echirolles	32 811	12 756	12 098	94,8%	36,9%	658	5,2%	2,0%
Eybens	9 473	4 317	4 075	94,4%	43,0%	242	5,6%	2,6%
Fontaine	23 323	9 256	8 719	94,2%	37,4%	537	5,8%	2,3%
Fontanil Cornillon	2 454	1 124	1 026	91,3%	41,8%	98	8,7%	4,0%
Froges	3 090	1 287	1 152	89,5%	37,3%	135	10,5%	4,4%
Gières	6 131	2 599	2 428	93,4%	39,6%	171	6,6%	2,8%
Grenoble	153 426	57 259	53 096	92,7%	34,6%	4 163	7,3%	2,7%
Gua (Le)	1 716	737	674	91,5%	39,3%	63	8,5%	3,7%
Jarrie	4 010	1 840	1 733	94,2%	43,2%	107	5,8%	2,7%
Lumbin	1 459	642	546	85,0%	37,4%	96	15,0%	6,6%
Meylan	18 730	8 021	7 459	93,0%	39,8%	562	7,0%	3,0%
Montbonnot Saint Martin	3 828	1 670	1 574	94,3%	41,1%	96	5,7%	2,5%
Murianette	617	262	246	93,9%	39,9%	16	6,1%	2,6%
Notre Dame de Mésage	1 201	603	553	91,7%	46,0%	50	8,3%	4,2%
Noyarey	2 103	921	845	91,7%	40,2%	76	8,3%	3,6%
Pierre (La)	390	185	155	83,8%	39,7%	30	16,2%	7,7%
Poisat	2 079	907	862	95,0%	41,5%	45	5,0%	2,2%
Pont de Claix (Le)	11 604	4 724	4 509	95,4%	38,9%	215	4,6%	1,9%
Saint Egrève	15 510	6 663	6 113	91,7%	39,4%	550	8,3%	3,5%
Saint Ismier	5 922	2 293	2 087	91,0%	35,2%	206	9,0%	3,5%
Saint Martin d'Hères	35 769	12 317	11 558	93,8%	32,3%	759	6,2%	2,1%
Saint Martin le Vinoux	5 191	2 051	1 905	92,9%	36,7%	146	7,1%	2,8%
Saint Nazaire les Eymes	2 337	925	837	90,5%	35,8%	88	9,5%	3,8%
Saint Paul de Varcès	1 845	829	794	95,8%	43,0%	35	4,2%	1,9%
Sassenage	9 726	4 506	4 238	94,1%	43,6%	268	5,9%	2,8%
Seyssinet-Pariset	13 074	5 891	5 570	94,6%	42,6%	321	5,4%	2,5%
Seyssins	6 844	3 103	2 914	93,9%	42,6%	189	6,1%	2,8%
Tronche (La)	6 452	2 375	2 199	92,6%	34,1%	176	7,4%	2,7%
Varces Allières et Risset	5 342	2 206	2 097	95,1%	39,3%	109	4,9%	2,0%
Versoud (Le)	3 814	1 763	1 635	92,7%	42,9%	128	7,3%	3,4%
Veurey Voroize	1 316	597	539	90,3%	41,0%	58	9,7%	4,4%
Vif	6 478	2 771	2 634	95,1%	40,7%	137	4,9%	2,1%
Villard-Bonnot	6 955	2 918	2 642	90,5%	38,0%	276	9,5%	4,0%
Vizille	7 442	2 853	2 557	89,6%	34,4%	296	10,4%	4,0%
Voreppe	9 231	4 065	3 452	84,9%	37,4%	613	15,1%	6,6%
Ensemble zone d'étude	459 001	183 070	17 0182	93,0%	37,1%	12 888	7,0%	2,8%

Quatre-vingt-treize pour cent (93 %) des déplacements domicile-travail s'effectuent à l'intérieur de la zone d'étude. Autrement dit, 7,0 % des actifs quittent quotidiennement la zone d'étude pour aller travailler, ce qui ne représente que 2,8 % de la population totale résidente.

On peut donc considérer que la très grande majorité des personnes résidentes (97,2 %) reste dans la zone d'étude quotidiennement.

2.3. Sources de pollution

Le Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique (Citepa) a réalisé en 1997 un rapport sur les émissions de polluants atmosphériques en France en estimant les proportions attribuables aux différentes sources de pollution [9]. Le tableau 4 présente les résultats pour l'arrondissement administratif de Grenoble (unité urbaine et arrondissement au sens de l'inventaire du Citepa).

Tableau 4. Emissions de polluants atmosphériques dans l'arrondissement administratif de Grenoble [9]

Polluants	SO ₂	NO _x	COVNM	CO
Emissions (tonnes)	8 980	18 805	30 780	104 902
<i>Origines principales en % de l'émission totale</i>				
Extraction et transformation d'énergie (%)	14,0%	1,9%	2,6%	0,0%
Résidentiel et tertiaire (%)	10,8%	4,2%	12,5%	15,1%
Industrie et traitement des déchets (%)	51,6%	17,5%	25,2%	5,4%
Transport routier (%)	22,8%	72,1%	46,6%	77,6%

Les émissions d'oxydes d'azote (NO_x), de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et de monoxyde de carbone (CO) sont principalement imputables aux transports routiers, avec respectivement 72,1 %, 46,6 % et 77,6 % de part attribuable. Les autres sources de pollution sont le secteur industriel et le secteur résidentiel et tertiaire. Les émissions de SO₂ proviennent essentiellement du secteur industriel avec une contribution de 51,6 %.

Dans l'agglomération grenobloise, le transport routier constitue donc la principale source de pollution atmosphérique. En effet, de grands axes routiers traversent la zone d'étude, notamment deux autoroutes (A48 et A41) et des routes nationales (annexe 1) [3].

Par ailleurs, les industries sont dispersées dans l'ensemble de la zone d'étude : au nord-ouest du triangle grenoblois (Voreppe, Saint-Egrève...), au nord-est (Crolles, Villard-Bonnot...), au sud (Champ-Sur-Drac, Vizille...) et au centre (Grenoble, La Tronche, Pont-de-Claix...) (annexe 2).

Au final, et d'après les connaissances d'Ascoparg, association de surveillance de la qualité de l'air, il est possible de considérer que la pollution de l'air est homogène dans la zone du PPA.

2.4. Surveillance de la qualité de l'air

La surveillance de la qualité de l'air sur l'agglomération grenobloise est assurée par le réseau de surveillance Ascoparg. Cette association, régie par la loi de 1901, est agréée par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable et est membre de la fédération Atmo.

Le réseau de surveillance dispose de 7 stations fixes urbaines et périurbaines implantées avant 2000 sur la zone d'étude retenue ; elles sont décrites dans les tableaux 5 et 6 (voir également leur implantation en annexe 3).

Tableau 5. Classification des stations urbaines et périurbaines de la zone d'étude implantées avant 2000 [Ascoparg]

Station	Densité de population (hab/km ²)*	Type de Station	Zone d'activité, environnement immédiat de la station, habitat	Lieu d'échantillonnage	Sources de pollution	Hauteur de prélèvement	Polluants mesurés	Dates de fonctionnement
Fontaine	6 397	urbaine	Zone résidentielle. Bâtiment administratif. Immeubles et maisons	Petit parc derrière Mairie, entre deux rues (à environ 100 à 150 mètres). Proximité d'un parking et d'arbres	Voies de circulation	En façade, hauteur 3,5 mètres	SO ₂ , NO, NO ₂ , O ₃	du 4/01/1985 au 29/12/1999
Fontaine Les Balmes	6 071	urbaine	Zone résidentielle. Ecoles. Immeubles hauts (> 5 étages), bâtiments scolaires	Impasse donnant sur petit parc, à proximité école. Terrain dégagé au nord, fermé au sud par bâtiment scolaire. Arbre à proximité immédiate	Voies de circulation	En toiture, hauteur 3,5 mètres	SO ₂ , NO, NO ₂ , PM ₁₀ , O ₃	depuis le 29/12/1999
Grenoble Villeneuve	8 892	urbaine	Zone résidentielle. Habitat immeubles hauts (> 6 étages)	Grand parc entre plusieurs immeubles. Espace assez dégagé	Voies de circulation, retombées possibles chaufferie urbaine	En façade, hauteur 15 mètres (4 ^e étage)	SO ₂ , NO, NO ₂ , PM ₁₀ , O ₃ , BT, FN	du 12/10/1984 au 14/01/2002
Saint Martin d'Hères	7 059	urbaine	Zone résidentielle. Stade, mur (< 2 mètres), arbres	Parc, espace assez dégagé, fermé au nord par bâtiments	Voies de circulation, retombées possibles chaufferie urbaine	En toiture, hauteur 3,5 mètres	SO ₂ , NO, NO ₂ , PM ₁₀ , O ₃	depuis le 25/08/1998
Echirolles	4 222	urbaine	Zone résidentielle. Terrain de sport. Stade, route	Bordure stade et route. Espace dégagé, avec arbuste et petit bâtiment (un étage) à proximité immédiate	Voies de circulation	En toiture, hauteur 3 mètres	SO ₂	du 5/01/1985 au 25/04/2000
Le Versoud	454	péri-urbaine	Zone agricole, résidentielle. Aéroport, champs, habitat pavillonnaire	Bordure de l'aéroport, zone dégagée	Avions	En toiture, hauteur 3 mètres	SO ₂ , NO, NO ₂ , O ₃	depuis le 1/04/1990
Champ-sur-Drac	375 (densité de la commune)	péri-urbaine	Habitat pavillonnaire, petits immeubles	Cour d'école, espace dégagé mais fermé par le bâtiment qui supporte la canne de prélèvement	Voie de circulation à proximité, zone industrielle au nord du site (1 km)	En façade, hauteur 4 mètres	SO ₂ , NO, NO ₂ , Hg, O ₃	depuis le 4/01/1985
Voreppe	1 206	péri-urbaine	Terrain de sport. Gymnase, stade	Extérieur gymnase, proximité d'arbres, espace assez dégagé (stade)	Voies de circulation	En façade, hauteur 3 mètres	SO ₂	du 4/01/1985 au 31/07/2003

* dans un rayon de 1 km, sauf pour Champ sur Drac (densité de la commune)

La station Fontaine a été remplacée le 1/01/2000 par la station Fontaine Les Balmes afin de répondre aux critères nationaux d'installation des sites. Fontaine Les Balmes est à moins de 200 mètres de l'ancien site de Fontaine, dans un environnement similaire.

Tableau 6. Description du réseau [Ascoparg]

Polluant	Stations de mesure	Méthode de mesure
NO ₂	Fontaine - Fontaine Les Balmes, Grenoble Villeneuve, Saint-Martin d'Hères, Le Versoud, Champ-sur-Drac	Chimiluminescence
SO ₂	Fontaine - Fontaine Les Balmes, Grenoble Villeneuve, Saint-Martin d'Hères, Echirolles, Le Versoud, Champ-sur-Drac, Voreppe	Fluorescence ultra violet
O ₃	Fontaine - Fontaine Les Balmes, Grenoble Villeneuve, Saint-Martin d'Hères, Le Versoud, Champ-sur-Drac	Absorption ultra violet
PM ₁₀	Fontaine Les Balmes, Grenoble Villeneuve, Saint-Martin d'Hères	Equivalence gravimétrique Teom (Tapered element oscillating microbalance)

Le tableau 7 compare les niveaux moyens (ou maximaux pour l'ozone) de pollution sur l'agglomération grenobloise pour l'année tropique 1999-2000 aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) [10,11].

Tableau 7. Niveaux de pollution sur l'agglomération grenobloise pour l'année tropique 1999-2000 [Ascoparg]

Polluants	Fontaine Les Balmes	Grenoble Villeneuve	Saint-Martin-d'Hères	Echirolles	Le Versoud	Champ-sur-Drac	Voreppe	Valeurs guides OMS 2000 (µg/m ³)
SO ₂ (moyenne 24h annuelle)	6	7	5	11	1	9	2	50
NO ₂ (moyenne 24h annuelle)	35	35	32	-	31	27	-	40
O ₃ (moyenne 8h estivale)	92	98	88	-	79	100	-	-
O ₃ (moyenne 8h maximale)	151	160	144	-	141	162	-	120

Aucune station urbaine ou périurbaine ne présente de concentration annuelle en NO₂ et SO₂ dépassant les valeurs guide de l'OMS.

Concernant les concentrations maximales en O₃ observées sur 8 heures, toutes les stations ont enregistré au moins une fois une valeur supérieure à la valeur guide de l'OMS. Il n'y a pas de valeur guide de l'OMS pour les PM₁₀.

2.5. Synthèse des critères de sélection de la zone d'étude

Toutes les communes du PPA ont été incluses dans la zone d'étude, car elles répondent aux critères d'inclusion du guide de l'InVS. Seul le critère de continuité urbaine entre les communes n'est pas toujours vérifié, cependant :

- la population demeure majoritairement dans la zone ;
- la pollution peut *a priori* être considérée comme homogène ;
- *a priori*, l'exposition de la population peut être estimée puisque 7 capteurs du réseau de surveillance de la qualité de l'air sont localisés sur la zone.

3. Matériel et méthode de l'EIS

La méthodologie proposée par l'Institut de Veille Sanitaire pour l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine a été appliquée à l'agglomération grenobloise. Cette méthodologie se décompose en 4 étapes : identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition-risque et caractérisation du risque.

3.1. Identification des dangers

Il s'agit de déterminer les dangers liés à un polluant en s'appuyant sur les résultats des études épidémiologiques et toxicologiques.

Ont été retenus les effets mis en évidence dans des études épidémiologiques en population générale à des niveaux d'exposition comparables, et pour lesquels une quantification était possible.

Certaines catégories de personnes peuvent être plus sensibles à la pollution atmosphérique que d'autres : les enfants, les personnes atteintes de pathologies particulières telles que l'asthme, les allergies, les troubles cardio-vasculaires et respiratoires, les personnes âgées. Les effets sont majorés par l'exercice physique.

3.1.1. Effets à court terme

Il s'agit des effets dus à une exposition de courte durée et qui interviennent immédiatement après cette exposition. Ce sont majoritairement des effets respiratoires (asthme, baisse de la fonction respiratoire...) et cardio-vasculaires (trouble du rythme cardiaque...).

Concernant la mortalité, on parle de décès anticipés, c'est-à-dire des décès qui auraient eu lieu à une date ultérieure si le niveau de pollution avait été égal au niveau de référence. Le délai d'anticipation de ces décès semble être de l'ordre de quelques semaines à plusieurs mois selon le type de pathologie à l'origine du décès.

Les indicateurs sanitaires retenus pour l'étude sont la mortalité toutes causes non accidentelles, cardio-vasculaire et respiratoire ainsi que les admissions hospitalières pour motifs respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques.

3.1.2. Effets à long terme

Ils apparaissent à la suite d'une exposition chronique à la pollution atmosphérique : affections chroniques respiratoires (bronchite chronique, asthme), cancers bronchiques voire décès. L'indicateur sanitaire retenu pour l'étude est la mortalité toutes causes non accidentelles [12].

3.2. Choix des relations exposition-risque

Il s'agit de caractériser les liens entre l'exposition et la probabilité de survenue du danger à cette exposition, en recourant aux résultats des études épidémiologiques déjà réalisées.

3.2.1. Court terme

Dans son guide méthodologique, l'InVS a retenu les relations exposition-risque issues d'études épidémiologiques réalisées en population générale, en privilégiant les études multicentriques aux méta-analyses et les études nationales ou européennes à celles menées sur d'autres continents. Ces relations exposition-risque sont toutes de type linéaire sans seuil.

Les risques relatifs (RR) sont présentés avec leurs intervalles de confiance à 95 % (IC 95%) dans les tableaux 8 à 13.

Tableau 8. Risques relatifs de mortalité totale pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux d'indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution	RR	IC 95%	Référence
O ₃	1,007	1,003-1,010	Psas-9 phase II [13]
NO ₂	1,010	1,007-1,013	Psas-9 phase II
SO ₂	1,011	1,005-1,017	Psas-9 phase II
FN	1,008	1,006-1,010	Psas-9 phase II
PM ₁₀	1,006	1,004-1,008	Aphea 2 [14,15]

Tableau 9. Risques relatifs de mortalité cardio-vasculaire pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux d'indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution	RR	IC 95%	Référence
O ₃	1,011	1,004-1,018	Psas-9 phase II
NO ₂	1,012	1,005-1,018	Psas-9 phase II
SO ₂	1,008	1,004-1,011	Psas-9 phase II
FN	1,005	1,001-1,010	Psas-9 phase II

Tableau 10. Risques relatifs de mortalité respiratoire pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux d'indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution	RR	IC 95%	Référence
O ₃	1,012	1,006-1,019	Psas-9 phase II
NO ₂	1,013	1,005-1,021	Psas-9 phase II
SO ₂	1,011	1,001-1,021	Psas-9 phase II
FN	1,007	0,999-1,015	Psas-9 phase II

Tableau 11. Risques relatifs d'admission pour affection cardio-vasculaire pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux d'indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution	RR	IC 95%	Référence
NO ₂ -hiver	1,010	1,006-1,014	Guide InVS 1999 [4]
NO ₂ -été	1,012	1,007-1,017	Guide InVS 1999
SO ₂ -hiver	1,013	1,006-1,020	Guide InVS 1999

Les RR du guide InVS 1999 sont des métrarisques (risque calculé à partir de plusieurs résultats) issus d'études menées à Paris et Londres [16-18].

Tableau 12. Risques relatifs d'admission pour affection cardiaque pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution	Population concernée	RR	IC 95%	Etude retenue
FN	Tous âges	1,011	1,004-1,018	Aphea 2
	65 ans et plus	1,013	1,004-1,022	Aphea 2
PM ₁₀	Tous âges	1,005	1,002-1,008	Aphea 2
	65 ans et plus	1,007	1,004-1,010	Aphea 2

Tableau 13. Risques relatifs d'admissions hospitalières pour affection respiratoire pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution	Population concernée	RR	IC 95 %	Etude retenue
O ₃	15-64 ans	1,004	0,998-1,010	Aphea 1
O ₃	≥ 65 ans	1,008	1,004-1,014	Aphea 1
NO ₂	15-64 ans	1,002	0,997-1,007	Aphea 1
NO ₂	≥ 65 ans	1,004	0,996-1,012	Aphea 1
SO ₂	15-64 ans	1,002	0,998-1,005	Aphea 1
SO ₂	≥ 65 ans	1,004	1,001-1,009	Aphea 1
FN	15-64 ans	1,006	1,001-1,010	Aphea 1
FN	≥ 65 ans	1,001	0,993-1,009	Aphea 2
PM ₁₀	≥ 65 ans	1,009	1,006-1,013	Aphea 2

Les risques relatifs associés à une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution se situent, selon l'effet étudié et l'indicateur retenu, entre 1,001 et 1,013. Cela signifie que pour une augmentation de 10 µg/m³ des indicateurs d'expositions, les risques de mortalité ou de morbidité hospitalière augmentent de 0,1 % à 1,3 %.

3.2.2. Long terme

Dans sa version actualisée provisoire, le guide InVS recommande d'utiliser la relation exposition-risque de l'étude européenne tri-nationale de Künzli et al. [19], qui est également proposées par l'OMS [5].

Tableau 14. Risque relatif de mortalité à long terme pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux de PM₁₀

Indicateur de pollution	RR	IC 95%	Etude retenue
PM ₁₀	1,043	1,026-1,061	Etude tri-nationale [19]

3.3. Estimation de l'exposition

L'objectif de cette étape est de quantifier l'exposition de la population de la zone d'étude à la pollution atmosphérique à partir des données de surveillance de la qualité de l'air, mesurées en routine par les stations du réseau de surveillance.

L'estimation de l'exposition de la population repose sur l'hypothèse selon laquelle, pour chaque polluant considéré, la moyenne journalière des capteurs sélectionnés constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles journalières. Il s'agit donc

de construire des indicateurs d'exposition pour les polluants dont les immissions sont mesurées et pour lesquels on dispose de relations exposition-risque.

Pour l'analyse, seules seront sélectionnées les stations représentatives de l'exposition de la population générale : les stations périurbaines et urbaines qui mesurent des niveaux moyens proches et bien corrélées entre elles, conformément aux recommandations du guide méthodologique. En effet, les niveaux mesurés par ces stations de fond, qui ne sont pas sous l'influence directe d'une source de pollution atmosphérique, sont représentatifs de l'exposition moyenne de la population à l'intérieur de la zone d'étude.

Ensuite on calcule, pour chaque polluant retenu, l'indicateur journalier d'exposition qui est la moyenne arithmétique des moyennes journalières (ou maximum journalier des moyennes glissantes sur 8h pour l'O₃) des capteurs sélectionnés.

3.4. Caractérisation du risque

3.4.1. Principe du calcul

Cette étape permet de quantifier l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique à partir des données d'exposition et des relations exposition-risque. Il s'agit de calculer, pour la population de la zone d'étude, le nombre d'évènements sanitaires attribuables à un niveau de pollution considéré, pour une période donnée.

En pratique, la proportion de cas attribuables au niveau de pollution considéré se calcule de la manière suivante :

$$PA = \frac{f (RR-1)}{1+f (RR-1)}$$

où : PA = proportion d'évènements sanitaire attribuables au niveau de pollution considéré, pour une période donnée
RR = risque relatif associé au niveau de pollution donné (fourni par la courbe exposition-risque)
f = prévalence de l'exposition, c'est-à-dire la proportion de la population exposée au niveau de pollution considéré.

Dans le cas de la pollution atmosphérique urbaine, toute la population peut être considérée comme étant exposée, en moyenne, au niveau considéré (f=1) et le nombre de cas attribuables pour la période considérée est calculé par la formule simplifiée :

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

où : NA = nombre de cas attribuables pour la période considérée
N = nombre moyen d'évènements sanitaires au cours de la période considérée
RR_Δ : excès de risque associé au différentiel de pollution Δ étudié, donné par la relation exposition-risque

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

3.4.2. Recueil des données sanitaires

Le nombre moyen N d'événements sanitaires au cours de la période d'étude et pour des personnes domiciliées dans la zone d'étude a été obtenu :

- pour les données de mortalité : auprès du Centre épidémiologique d'étude des causes de décès (CépiDC) de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) pour les individus domiciliés dans la zone d'étude ; l'étude concerne la mortalité toutes causes (hors morts violentes et accidentelles)², cardio-vasculaire³ et respiratoire⁴ ; les données correspondent à l'ensemble de la population pour le court terme, et à la population de plus 30 ans pour le long terme ;
- pour les données d'admissions hospitalières : les informations sont extraites du programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) et ont été recueillies à partir de la base des Résumés de Sortie Anonymisés (RSA) de la Drass Rhône-Alpes pour les établissements hospitaliers susceptibles de recevoir en urgences des individus domiciliés dans la zone d'étude. Le motif d'admission n'étant pas disponible dans ce système d'information, il est approché par le Diagnostic principal (DP) du RSA. Ont donc été comptabilisés les nombres de RSA contenant un DP respiratoire⁵, cardio-vasculaire⁶ ou cardiaque⁷ pour les patients hospitalisés pendant plus de 24h en provenance de leur domicile et habitant dans la zone d'étude.

² codes Cim 9<800 / codes Cim 10<S00

³ codes Cim 9 : 390-459 / codes Cim 10 : I00-I99

⁴ codes Cim 9 : 460-519 / codes Cim 10 : J00-J99

⁵ codes Cim 10 : J00-J99, pour les classes d'âge 15-64 ans et ≥65 ans

⁶ codes Cim 10 : I00-I99, pour tous âges

⁷ codes Cim 10 : I00-I52, pour les classes d'âge ≥65 ans et tous âges

4. Résultats de l'EIS

4.1. Définition de la période d'étude

La période d'étude a été définie en fonction de la disponibilité des données de pollution de l'air et des données sanitaires.

Elle s'étend sur deux saisons tropicales complètes, du 01/10/1999 au 31/03/2000 et du 1/04/2000 au 30/09/2000.

D'un point de vue de la qualité de l'air, cette année tropicale est considérée comme « normale », ce qui permettra une bonne représentativité des résultats de l'EIS, sauf pour l'ozone où les immissions sont un peu plus faibles en 2000 qu'en 2001 ou 2002 [Ascoparg].

4.2. Estimation de l'exposition

4.2.1. Choix des polluants

Parmi les polluants surveillés sur l'agglomération grenobloise, les indicateurs de pollution pour lesquels on dispose de relations exposition-risque sont SO₂, NO₂, O₃, FN et PM₁₀.

En hiver, les niveaux en O₃ étant très faibles, cet indicateur n'est pas représentatif de la pollution atmosphérique urbaine. L'EIS pour ce polluant ne sera donc réalisée que pour la période estivale.

4.2.2. Sélection des stations

L'étude a porté uniquement sur les stations urbaines de la zone d'étude (Fontaine - Fontaine Les Balmes, Grenoble Villeneuve, Saint-Martin d'Hères et Echirolles), afin d'avoir un maximum d'homogénéité entre les polluants. En effet, pour les particules, les données sont disponibles seulement sur des sites urbains et pour le SO₂, les stations périurbaines présentent plus de 25 % de données manquantes ; pour l'O₃ et le NO₂, les concentrations sont légèrement inférieures sur les sites périurbains, mais elles sont bien corrélées avec celles des sites urbains. De plus, bien qu'il existe de nombreux échanges entre le centre et la périphérie, 80 % de la population de la zone réside dans les communes très denses du centre de l'agglomération. De ce fait les stations urbaines reflètent mieux l'exposition globale de la population.

Le SO₂ n'a pas été retenu comme indicateur de pollution, car il présente des concentrations trop faibles pour être prises en compte dans les calculs d'impact sanitaire (moyenne annuelle de 6 µg/m³).

Par ailleurs, les FN n'étant enregistrées que par une seule station (Grenoble Villeneuve), seules les PM₁₀ seront étudiées pour l'EIS en tant qu'indicateur de pollution particulaire.

La distribution saisonnière des immissions de polluants sur la période d'étude, ainsi que les corrélations entre stations sont présentées en annexe 4.

Les 3 stations urbaines mesurant l'O₃ ont été retenues pour la construction de l'indicateur d'exposition : Fontaine - Fontaine Les Balmes, Grenoble Villeneuve et Saint-Martin d'Hères.

En effet, leurs distributions sont comparables et les coefficients de corrélation élevés (supérieurs à 0,857).

Pour les mêmes raisons, ces 3 stations ont également été retenues pour le NO₂ (coefficients de corrélation supérieurs à 0,856).

Pour les PM₁₀, les stations Fontaine - Fontaine Les Balmes, Grenoble Villeneuve et Saint-Martin d'Hères présentent des distributions très proches et des coefficients de corrélation élevés (supérieurs à 0,871). Elles ont donc été sélectionnées toutes les trois.

4.2.3. Construction des indicateurs d'exposition

Les indicateurs d'exposition ont été construits en effectuant la moyenne arithmétique des concentrations moyennes journalières (ou des maximums journaliers des moyennes glissantes sur 8h pour l'O₃) mesurées par les capteurs sélectionnés. Le taux de valeurs manquantes étant nul, les valeurs mesurées et validées par l'Ascoparg ont pu être utilisées sans remplacement préalable.

Les statistiques descriptives des indicateurs d'exposition et leur distribution par gamme de concentrations sont présentées dans les tableaux 15 et 16.

Tableau 15. Distribution des indicateurs d'exposition [Ascoparg]

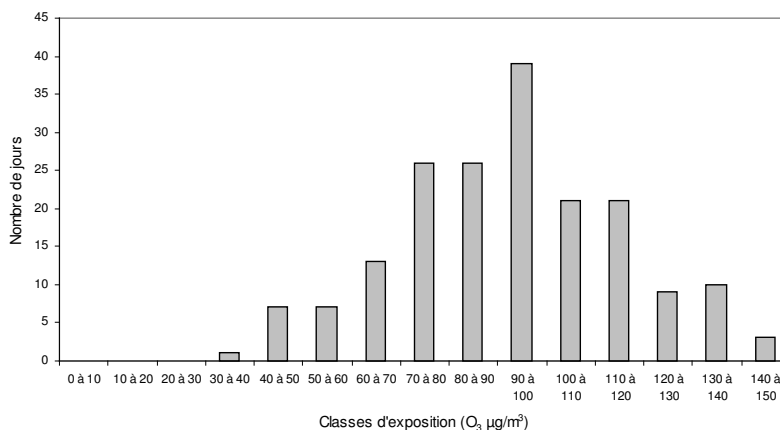
	Concentrations journalières en µg/m ³						
	O ₃	NO ₂			PM ₁₀		
	été	an	hiver	été	an	hiver	été
Minimum	39	8	10	8	4	4	4
Percentile 5	52	15	19	15	8	7	8
Percentile 25	77	24	30	21	13	14	13
Médiane	92	31	39	28	21	27	19
Percentile 75	109	42	51	33	31	38	26
Percentile 95	132	59	67	41	49	59	33
Maximum	149	75	75	52	76	76	50
Moyenne journalière	93	34	41	27	24	28	20
Ecart-type	23	13	14	8	13	16	8
% valeurs manquantes	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tableau 16. Distribution des indicateurs d'exposition par classe d'exposition [Ascoparg]

	Nombre de valeurs						
	O ₃	NO ₂			PM ₁₀		
	été	an	hiver	été	an	hiver	été
[0-10 µg/m ³]	0	1	0	1	46	24	22
]10-20 µg/m ³]	0	46	10	36	121	50	71
]20-30 µg/m ³]	0	112	34	78	100	33	67
]30-40 µg/m ³]	1	105	49	56	59	38	21
]40-50 µg/m ³]	7	50	40	10	22	21	1
]50-60 µg/m ³]	7	34	32	2	11	10	1
]60-70 µg/m ³]	13	13	13	0	5	5	0
]70-80 µg/m ³]	26	5	5	0	2	2	0
]80-90 µg/m ³]	26	0	0	0	0	0	0
]90-100 µg/m ³]	39	0	0	0	0	0	0
]100-110 µg/m ³]	21	0	0	0	0	0	0
]110-120 µg/m ³]	21	0	0	0	0	0	0
]120-130 µg/m ³]	9	0	0	0	0	0	0
]130-140 µg/m ³]	10	0	0	0	0	0	0
]140-150 µg/m ³]	3	0	0	0	0	0	0
> 150 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0
Total	183	366	183	183	366	183	183

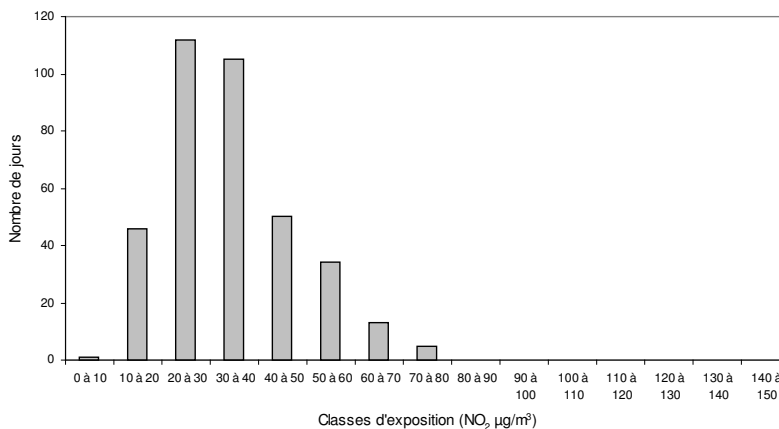
Les figures 1 à 3 représentent les distributions des indicateurs d'exposition par classes. Les indicateurs sont comparés à des niveaux de référence correspondant aux objectifs de qualité figurant dans le décret 98-360 du 6 mai 1998 et le décret 2002-213 du 15 février 2002 le modifiant.

Figure 1. Distribution par classes de l'indicateur d'exposition O₃



L'objectif de qualité⁸ pour la protection de la santé humaine pour l'ozone, fixé à 110 µg/m³ sur 8 heures glissantes, est dépassé pendant 23 % des journées estivales, soit 43 jours pendant l'été.

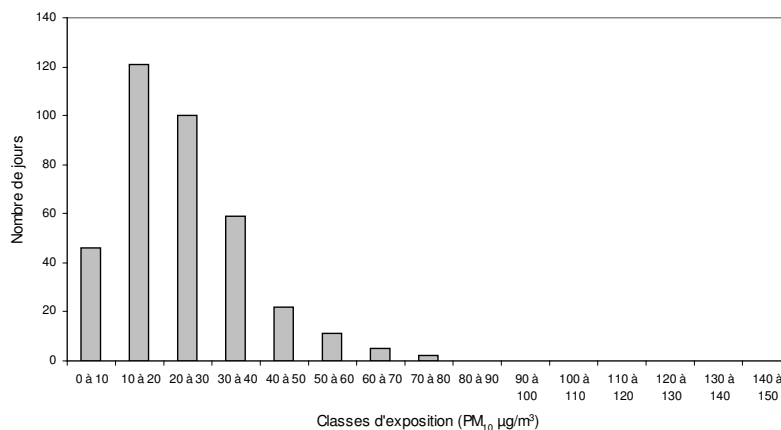
Figure 2. Distribution par classes de l'indicateur d'exposition NO₂



Pour le NO₂, l'objectif de qualité de 40µg/m³ en moyenne annuelle est respecté pour l'année tropique 1999-2000. Cependant, pendant 28 % des jours de l'année, les valeurs journalières sont supérieures à 40 µg/m³.

⁸ Selon la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, un objectif de qualité est un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement, à atteindre dans une période donnée.

Figure 3. Distribution par classes de l'indicateur d'exposition PM_{10}



L'objectif de qualité pour les PM_{10} de $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle est largement respecté pour l'année tropique 1999-2000.

La valeur limite de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière été dépassée 18 fois pendant cette période, ce qui demeure en dessous des 35 dépassements journaliers autorisés par année civile.

4.3. Indicateurs sanitaires

4.3.1. Mortalité

Le tableau 17 présente les données de mortalité de l'Inserm pour la période d'étude.

Tableau 17. Nombre de décès toutes causes sauf accidentelles, de cause cardio-vasculaire et de cause respiratoire sur la zone d'étude [Inserm, CépiDC]

		Mortalité toutes causes sauf accidentelles			Mortalité cardio-vasculaire			Mortalité respiratoire		
		Hiver	Eté	Année	Hiver	Eté	Année	Hiver	Eté	Année
Tous âges	Année 1999-2000	1530	1296	2826	482	397	879	144	78	222
	Nombre moyen journalier de décès	8,4	7,1	7,7	2,6	2,2	2,4	0,8	0,4	0,6
	Taux moyen de décès pour 100 000 hab.	333	282	616	105	86	192	31	17	48
Age ≥ 30 ans	Année 1999-2000	1502	1267	2769	481	395	876	144	76	220
	Nombre moyen journalier de décès	8,2	6,9	7,6	2,6	2,2	2,4	0,8	0,4	0,6
	Taux moyen de décès pour 100 000 hab.	567	478	1045	181	149	330	54	29	83

4.3.2. Admissions hospitalières

Le tableau 18 présente les données extraites du PMSI pour la période d'étude. La requête a porté sur 5 établissements de la zone d'étude (1 publics et 4 privés)⁹, ainsi que 3 établissements (2 publics et un privé) situés à proximité et recevant en urgence des personnes domiciliées dans la zone d'étude¹⁰. Tous ces établissements ont bien rempli le PMSI sur la période considérée.

Tableau 18. Nombre d'admissions hospitalières de plus de 24 h en provenance du domicile pour pathologies respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques sur la zone d'étude [Drass Rhône-Alpes]

Pathologies	Tranches d'âge	Respiratoires		Cardio-vasculaires	Cardiaques	
		15-64 ans	≥ 65 ans	Tous âges	Tous âges	≥ 65 ans
Hiver 1999-2000	Nombre total	629	646	3459	1858	1224
	Nombre moyen journalier	3,4	3,5	18,9	10,2	6,7
	Taux pour 100 000 hab.	199	1024	754	405	1940
Eté 2000	Nombre total	448	448	2844	1658	1071
	Nombre moyen journalier	2,4	2,4	15,5	9,1	5,9
	Taux pour 100 000 hab.	141	710	620	361	1698
Année 1999-2000	Nombre total	1077	1094	6303	3517	2296
	Nombre moyen journalier	2,9	3,0	17,2	9,6	6,3
	Taux pour 100 000 hab.	340	1734	1373	766	3640

Remarque : pour les communes partageant leur code postal avec d'autres communes hors zone d'étude, le nombre d'admissions a été pondéré au prorata du nombre d'habitants.

⁹ CHU Michallon, Clinique des Bains, Clinique Belledonne, Clinique des Eaux Claires, Clinique des Cèdres

¹⁰ CH La Mûre, CH Voiron, Clinique de la Chartreuse

4.4. Caractérisation du risque

4.4.1. Estimation de l'impact sanitaire à court terme

4.4.1.1. Impact sanitaire total (scénario 1)

L'impact de la pollution atmosphérique, estimé par rapport à une exposition à un niveau faible de pollution, a été calculé polluant par polluant pour les saisons pour lesquelles il existait une relation exposition-risque. Ces niveaux faibles de pollution sont proches des percentiles 5 des distributions et correspondent à des niveaux de référence standard qui permettent la comparaison avec les EIS d'autres agglomérations. Ces niveaux sont de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l' O_3 (inférieur au 1^{er} percentile de sa distribution) et de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 (inférieur au 5^{ème} percentile) et les PM_{10} (inférieur au 15^{ème} percentile). Les nombres de cas attribuables pour chacun des indicateurs sanitaires et indicateurs d'exposition étudiés sont présentés en annexe 5.

Les indicateurs de pollution sont les témoins d'une exposition à un mélange atmosphérique complexe dont la mesure n'est pas directement accessible. Les impacts de ces différents polluants ne sont pas additifs, car la population est exposée au mélange de ces polluants pour lesquels aucun indicateur n'est totalement spécifique. Les impacts estimés pour chacun des indicateurs ne peuvent donc pas être sommés, mais l'impact minimal est au moins égal au plus grand nombre d'événements attribuables parmi ceux calculés pour les indicateurs d'exposition étudiés. Le tableau 19 présente le nombre de cas attribuables aux indicateurs d'exposition révélant l'impact sanitaire le plus fort.

Tableau 19. Nombres de cas annuels attribuables associés à l'indicateur d'exposition ayant le plus d'impact (et leurs intervalles de confiance à 95 %)

Indicateur sanitaire	Indicateur d'exposition	Nombre de cas attribuables	IC 95%
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	NO_2	67	47-87
<i>Mortalité cardio-vasculaire</i>	NO_2	25	10-38
<i>Mortalité respiratoire</i>	NO_2	7	3-11
Morbidité respiratoire			
<i>chez les 15-64 ans*</i>	-	-	-
<i>chez les 65 ans et plus</i>	O_3 été	18	9-32
Morbidité cardiovasculaire en hiver	NO_2 hiver	105	62-147
Morbidité cardiovasculaire en été	NO_2 été	58	34-82
Morbidité cardiaque tous âges	PM_{10}	25	10-38
<i>Morbidité cardiaque chez les 65 ans et plus</i>	PM_{10}	23	13-33

* résultat non significatif

Pour l'année 1999-2000, l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération grenobloise est donc estimé à :

- **67 décès anticipés**, dont 25 de cause cardio-vasculaire et 7 de cause respiratoire ;
- **18 admissions hospitalières pour motif respiratoire** chez les plus de 65 ans ;
- **105 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire en hiver et 58 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire en été**¹¹. On distingue parmi ces hospitalisations 25 admissions hospitalières pour motifs cardiaques dans la population totale (dont 23 chez les plus de 65 ans).

¹¹ Les risques relatifs concernant l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur les admissions pour motif cardio-vasculaire sont fournis par saison tropique et actuellement on ne connaît pas le RR pour l'année, ni la relation entre le RR année et les 2 RR obtenus par saisons. De plus, la relation entre le nombre de cas attribuables et le RR n'est pas linéaire. Rigoureusement les résultats par saisons ne sont donc pas additionnables sur une année.

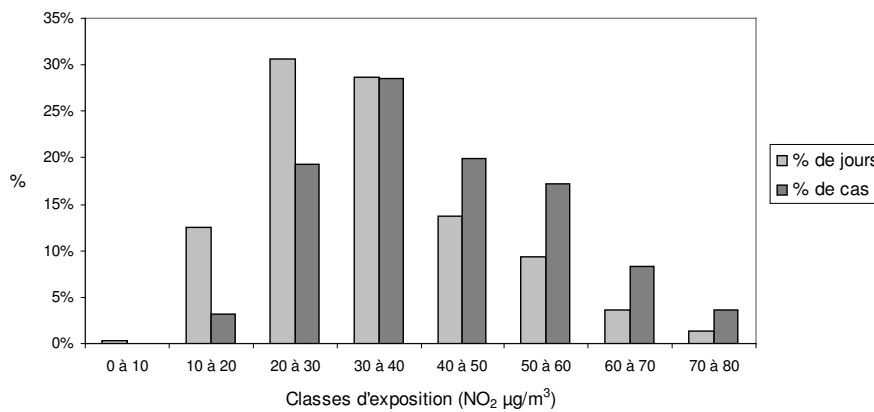
Ce sont les nombres d'évènements sanitaires qui seraient théoriquement évités si les niveaux de pollution atmosphérique étaient très faibles.

4.4.1.2. 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.

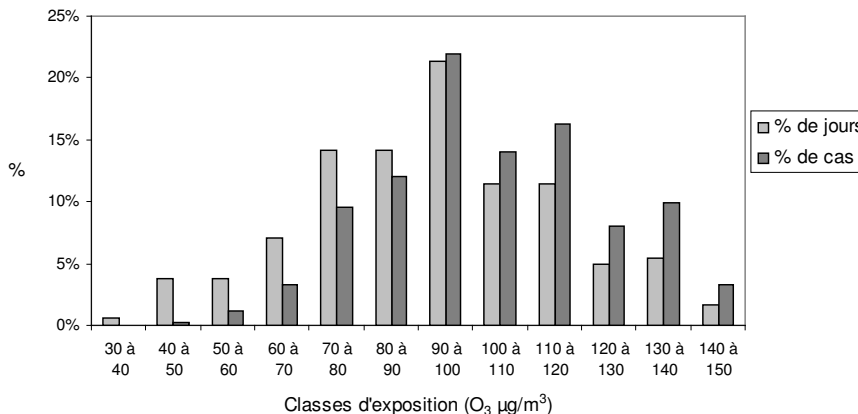
Quels que soient l'indicateur d'exposition et l'indicateur sanitaire considérés, si les jours de forte pollution ont individuellement un impact sanitaire important sur la santé, leur faible fréquence limite leur part relative dans l'impact sur une année entière. Ceci est illustré par les figures 4 et 5 qui représentent respectivement la distribution des niveaux de NO₂ et d'O₃, et des impacts qui leur sont attribuables en terme de mortalité toutes causes et de morbidité respiratoire chez les plus de 65 ans.

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



On constate que les jours pour lesquels les niveaux de NO₂ sont inférieurs à 40 µg/m³ (72 % des jours de l'année) sont responsables de 51 % de l'impact sanitaire.

Figure 5. Distribution par classes des niveaux d'exposition journaliers et des impacts associés (morbidité respiratoire chez les plus de 65 ans)



De même, les jours pour lesquels les niveaux d'O₃ sont inférieurs à 110 µg/m³ (77 % des jours de la saison estivale) sont responsables de 62 % de l'impact sanitaire.

4.4.1.3. Gain sanitaire lié à une diminution des niveaux dépassant les valeurs réglementaires en vigueur pour chaque polluant (scénario 2)

Ce scénario revient à réduire tous les niveaux journaliers (parfois appelés « pics ») de pollution atmosphérique qui dépassent les valeurs réglementaires en vigueur (correspondant aux objectifs de qualité décrits au § 4.2.3.¹²).

Tableau 20. Gain sanitaire attendu (nombres annuels de cas évitables et leurs intervalles de confiance à 95 %) pour chaque indicateur sanitaire selon le scénario 2

	Nombre de cas évitables	IC 95%
Mortalité toutes causes sauf accidentelles, dont :	9	7-12
Mortalité cardio-vasculaire	4	1-5
Mortalité respiratoire	1	0-2
Morbidité respiratoire		
chez les 15-64 ans	-	-
chez les 65 ans et plus	1	1-2
Morbidité cardiovasculaire en hiver	21	13-30
Morbidité cardiovasculaire en été	1	1-2
Morbidité cardiaque tous âges, dont :	5	2-9
Morbidité cardiaque chez les 65 ans et plus	5	3-7

Une réduction des niveaux de pollution au niveau de la valeur de référence permettrait d'éviter chaque année 13 % des décès anticipés et 2 % à 22 % des hospitalisations.

4.4.1.4. Gain sanitaire lié à une réduction de 25 % de la moyenne annuelle pour chaque polluant (scénario 3)

Ce scénario consiste à diminuer les niveaux de pollution atmosphérique de 25 % chaque jour de l'année.

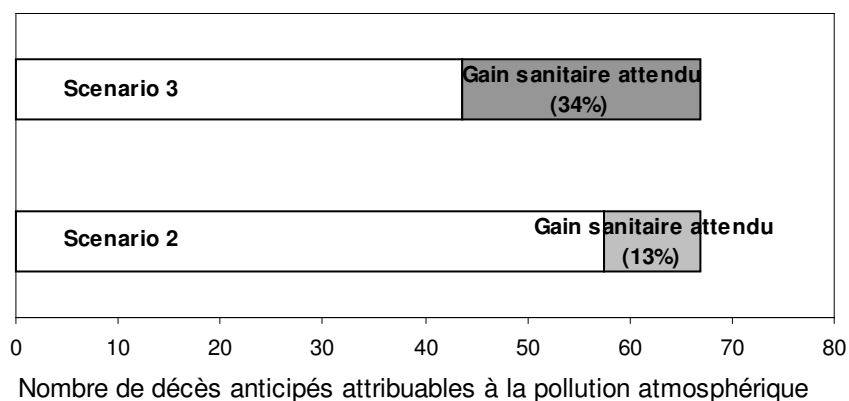
Tableau 21. Gain sanitaire attendu (nombres annuels de cas évitables et leurs intervalles de confiance à 95 %) pour chaque indicateur sanitaire selon le scénario 3

	Nombre de cas évitables	IC 95%
Mortalité toutes causes sauf accidentelles, dont :	23	16-30
Mortalité cardio-vasculaire	9	4-13
Mortalité respiratoire	2	1-4
Morbidité respiratoire		
chez les 15-64 ans	-	-
chez les 65 ans et plus	8	4-14
Morbidité cardiovasculaire en hiver	34	20-48
Morbidité cardiovasculaire en été	22	13-32
Morbidité cardiaque tous âges, dont :	10	4-16
Morbidité cardiaque chez les 65 ans et plus	9	5-13

Une réduction de 25 % des niveaux moyens de pollution atmosphérique permettrait d'éviter 34 % des décès anticipés et 32 % à 44 % des hospitalisations.

Quel que soit l'indicateur sanitaire observé, le gain sanitaire potentiellement obtenu par une diminution de 25 % des niveaux de pollution est toujours supérieur au gain sanitaire obtenu par la réduction des « pics » de pollution. Ceci est illustré par la figure 6 en ce qui concerne la mortalité totale anticipée.

¹² 110 µg/m³ pour l'O₃, 40 µg/m³ pour le NO₂ et 30 µg/m³ pour les PM₁₀

Figure 6. Gains sanitaires attendus concernant la mortalité anticipée toutes causes (sauf accidentelles) pour 2 scénarii de diminution de la pollution atmosphérique

4.4.1.5. Comparaison aux résultats du Psas-9 (phase II)

Le Programme de surveillance air et santé 9 villes (Psas-9), coordonné par l'InVS, a pour objectif de quantifier, à l'échelle de la population, les relations exposition-risque entre des indicateurs de pollution atmosphérique issues des données produites par les associations de surveillance de la qualité de l'air et des indicateurs de santé. Il vise également à quantifier la relation à court terme entre la pollution atmosphérique et ses effets sur la santé. C'est un programme multicentrique incluant 9 villes françaises contrastées sur le plan géographique, climatique, socio-économique, ainsi que sur le plan sanitaire [13].

L'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité anticipée à Grenoble a été comparé à celui des 9 villes du Psas-9. Pour pouvoir effectuer cette comparaison, des taux de décès attribuable spécifiques ont été calculés pour Grenoble (impact sanitaire par rapport à un niveau de pollution atmosphérique de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et pour 100 000 habitants). Par contre les polluants responsables et la période d'étude ne sont pas forcément les mêmes d'une ville à l'autre, d'où les limites de cette comparaison.

Tableau 22. Taux pour 100 000 habitants et par an de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique pour des niveaux supérieurs à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les 9 villes du Psas-9 et dans l'agglomération grenobloise

Villes	Mortalité totale	Mortalité cardio-vasculaire	Mortalité respiratoire
Bordeaux*	3,8	0,9	0,2
Le Havre	24,1	8,8	2,1
Lille	9,3	4,8	1,1
Lyon	28,2	11,9	3,3
Marseille	24,4	13,3	3,3
Paris	30,6	10,9	3,3
Rouen	17,7	8,5	2,3
Strasbourg	24,8	10,9	2,8
Toulouse	14,3	7,6	1,9
Grenoble	14,6	5,4	1,5

* pour Bordeaux les mesures d' O_3 n'étaient pas disponibles, ce qui explique les faibles résultats obtenus

Grenoble présente des taux de décès attribuable du même ordre de grandeur que ceux obtenus dans les 9 villes du PSAS-9.

4.4.2. Estimation de l'impact sanitaire à long terme

4.4.2.1. Impact sanitaire total

Le tableau 23 présente l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique à long terme, estimé pour les PM₁₀ par rapport à un niveau faible de pollution (10 µg/m³).

Tableau 23. Impact à long terme : nombre annuel de cas attribuables associés aux PM₁₀ (et intervalle de confiance à 95 %)

Indicateur sanitaire	Indicateur d'exposition	Nombre de cas attribuables	IC 95%
Mortalité toutes causes sauf accidentelles chez les plus de 30 ans	PM ₁₀	155	93-221

L'impact sanitaire à long terme de la pollution atmosphérique sur l'agglomération grenobloise se traduit donc par 155 décès pour l'année 1999-2000.

4.4.2.2. Gains sanitaires attendus pour 4 scénarios de réduction de la pollution atmosphérique

Le tableau 24 présente le gain sanitaire attendu pour quatre scénarios de réduction de la pollution atmosphérique.

Tableau 24. Impact à long terme : gain sanitaire attendu (nombres annuels de décès évitables et leurs intervalles de confiance à 95 %) pour 4 scénarios de réduction de la pollution atmosphérique (PM10)

Scénario	Nombre de cas évitables	IC 95%
Scénario 1 : diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne 2005 (40 µg/m ³)	0	0-0
Scénario 2 : diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne 2010 (20 µg/m ³)	43	26-60
Scénario 3 : diminution de 5 µg/m ³ de la moyenne annuelle	58	35-81
Scénario 4 : diminution des niveaux de 25 %	65	39-92

Le gain sanitaire obtenu avec le scénario 1 est nul puisque la moyenne annuelle observée (23 µg/m³) est inférieure au niveau de la norme européenne applicable en 2005 (40 µg/m³).

En réduisant la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne applicable en 2010 (20 µg/m³), le gain sanitaire annuel à long terme pourrait être de l'ordre de 43 décès évitables, soit 28 % de gain sanitaire.

En diminuant la moyenne annuelle de 5 µg/m³ (ce qui permettrait d'atteindre une moyenne annuelle de 18 µg/m³), le gain sanitaire s'élèverait à 58 décès évitables, soit 37 % de gain sanitaire.

Enfin, une diminution de 25 % de la moyenne annuelle (qui permettrait d'atteindre une moyenne annuelle de l'ordre de 17 µg/m³) permettrait un gain sanitaire de 65 décès évitables, soit 42 % de gain sanitaire.

5. Discussion

5.1. Hypothèses, limites et incertitudes de l'EIS

L'évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine sur l'agglomération grenobloise a été menée en suivant la méthodologie proposée par le guide InVS 1999 et de ses recommandations provisoires rédigées en 2003. Les 4 étapes de la démarche d'EIS ont été appliquées : identification des dangers, choix des relations exposition-risque, estimation de l'exposition, caractérisation du risque.

Afin d'apprécier la validité des résultats obtenus, il convient de rappeler et de préciser les hypothèses et incertitudes inhérentes à chacune de ces étapes (qui entraînent le plus souvent une sous-estimation de l'impact sanitaire global).

5.1.1. Identification des dangers

Les polluants retenus pour cette étude sont ceux qui sont mesurés sur l'agglomération grenobloise et pour lesquels on dispose d'une relation exposition-risque : ils ne représentent qu'une partie du mélange complexe que constitue la pollution atmosphérique.

De même, les effets retenus sont ceux pour lesquels une quantification était possible :

- en ce qui concerne la morbidité à court terme, seuls sont pris en compte les effets ayant nécessité une hospitalisation, alors que l'on peut penser que les hospitalisations ne représentent qu'une faible fraction de la morbidité liée à la pollution atmosphérique ;
- parmi les effets à long terme, seule la mortalité a été étudiée, alors que tous les effets n'entraînent pas de décès.

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. Choix des relations exposition-risque

Les relations exposition-risque utilisées pour cette EIS sont fondées sur des études épidémiologiques à des faibles niveaux d'exposition, ce qui ne nécessite pas d'extrapolation animal/homme ni haute dose/basse dose ; par contre elles ont été obtenues pour des zones géographiques différentes de notre zone d'étude, qui peut être soumise à une pollution atmosphérique de composition différente.

Cependant, l'utilisation de relations exposition-risque établies par des études européennes (Apeha 2) et française (Psas-9) pour estimer l'impact à court terme limite cet inconvénient. En effet, ces études ont montré la cohérence des relations entre exposition à la pollution atmosphérique et risque de mortalité et d'admission hospitalière pour motif respiratoire dans plusieurs villes d'Europe, quelles que soient les caractéristiques locales.

En revanche, la relation exposition-risque utilisée pour estimer l'impact à long terme provient de l'étude tri-nationale de Künzli et al., elle-même fondée sur les résultats de deux études de cohorte américaines. Les conditions dans lesquelles ont été réalisées ces études sont potentiellement différentes de celles rencontrées ici, en terme de causes de mortalité, de

composition qualitative de la pollution atmosphérique particulaire et de caractéristiques socio-démographiques

5.1.3. Estimation de l'exposition

L'estimation de l'exposition 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.

L'exposition est donc estimée pour l'ensemble des personnes résidant dans la zone d'étude et non à l'échelon individuel (on ne connaît pas les budgets espace-temps des individus c'est-à-dire le temps passé à un endroit donné par chaque personne), alors qu'au cours d'une journée les individus sont exposés à des niveaux de pollution variables. D'autre part, une partie de la population peut s'absenter de la zone d'étude au cours de la journée pour des raisons professionnelles ou personnelles. En fonction des situations individuelles, l'exposition peut ainsi être sous-estimée ou sur-estimée par l'indicateur construit ici. Pour les mêmes raisons, la zone d'étude attire une population non-résidente (plus de 55 000 personnes pour des raisons professionnelles), ce qui 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 aux niveaux de pollution atmosphérique rencontrés dans la zone d'étude.

L'exposition des personnes habitant à proximité d'une voie de circulation n'est pas prise en compte car cela nécessiterait de pouvoir définir la population vivant à proximité des axes routiers et la mise en place d'un indicateur d'exposition spécifique. Par ailleurs, les indicateurs sanitaires ne sont pas disponibles à un niveau géographique aussi fin. Ceci conduit également à sous-estimer l'impact de la pollution atmosphérique.

Par ailleurs, on ne dispose pas des niveaux de pollution réels dans la zone d'étude mais d'un niveau moyen, calculé à partir des valeurs d'immissions enregistrées par les stations de mesure. Ce niveau dépend de la configuration du réseau de mesure ; de ce fait, une implantation différente des capteurs aurait pu conduire à une estimation différente des indicateurs d'exposition. Cependant cette incertitude est minimisée par l'utilisation de plusieurs stations.

5.1.4. Recueil des Indicateurs sanitaires

Globalement, l'erreur sur le dénombrement des effets sanitaires (mortalité, admissions hospitalières) est limitée par le regroupement des effets en grandes catégories de diagnostics.

Concernant les admissions hospitalières, l'absence de distinction entre urgences et admissions programmées dans le PMSI conduit à sur-estimer le nombre d'événements sanitaires et donc l'impact sanitaire en terme de morbidité, tandis que la non prise en compte des passages aux urgences n'entraînant pas d'admission aurait au contraire tendance à la sous-estimer.

5.1.5. Caractérisation du risque

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

Dans la mesure où la population est exposée à un ensemble de polluants pour lesquels aucun indicateur n'est totalement spécifique, les impacts estimés par indicateur de pollution ne sont pas additifs. Ainsi, si certains polluants ont une toxicité propre, ils sont avant tout les témoins d'une exposition à un mélange chimique complexe, inaccessible directement à la mesure. 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.

Les impacts estimés pour chacun des indicateurs ne peuvent donc pas être sommés. Pour un indicateur sanitaire donné, le nombre de cas attribuables retenu correspond donc à la valeur la plus élevée parmi celles obtenues parmi les différents indicateurs de pollution disponibles. Il s'interprète comme l'estimation minimale de l'impact de la pollution atmosphérique urbaine dans son ensemble.

Ainsi, une action visant à réduire le niveau d'un indicateur sans réduction de la pollution globale ne produirait pas les effets positifs escomptés. Une politique de réduction de risque ne peut être envisagée qu'à travers une approche globale (réduction des émissions liées à l'ensemble des sources), la pollution atmosphérique dans son ensemble constituant le facteur de risque à maîtriser.

Enfin, en ce qui concerne l'impact à long terme, la modification potentielle à long terme de la population concernée et de ses causes de mortalité, de son espérance de vie moyenne et de la pollution atmosphérique locale sur un plan qualitatif sont autant de sources d'incertitude.

5.2. Interprétation des résultats

Ce travail ne vise pas à démontrer que la pollution atmosphérique a des effets sur la santé mais de quantifier cet impact au niveau local. En effet, la pollution atmosphérique a fait l'objet d'une abondante littérature scientifique qui permet de conclure à l'existence d'effets néfastes sur la santé des populations même pour de faibles niveaux d'exposition et à l'inexistence apparente de seuil pour la manifestation de ces effets au niveau d'une population.

Au vu 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. Il s'agit d'une estimation réalisée sur la base des acquis scientifiques actuels et des données disponibles.

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

6. Conclusion et recommandations

6.1. Un impact collectif non négligeable

Sur une année, l'impact à court terme de la pollution atmosphérique pour l'agglomération grenobloise (459 001 habitants), évalué par rapport à une situation théorique sans pollution, a été estimé, en moyenne, à 67 décès anticipés, 18 hospitalisations pour motif respiratoire, 105 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire en hiver et 58 en été. Le gain sanitaire d'une diminution de 25 % des niveaux moyens de pollution a été estimé à 34 % des décès anticipés et jusqu'à 44 % des hospitalisations attribuables à la pollution atmosphérique.

L'impact sanitaire à long terme a été estimé à 155 décès annuels, et le gain sanitaire d'une diminution de 25 % des niveaux moyens de pollution a été estimé à 42 % de ces décès attribuables à la pollution atmosphérique.

Il s'agit là d'ordres de grandeur mais ces chiffres illustrent le fait que la pollution atmosphérique exerce des effets sur la santé d'une population, même pour des niveaux modérés de pollution, situés en deçà des normes. Ce résultat traduit le fait que même si les risques relatifs associés à la pollution sont faibles, la proportion importante de personnes exposées aboutit à un impact collectif non négligeable.

6.2. Un impact dû aux niveaux habituels plutôt qu'aux pics de pollution

Les épisodes de pollution atmosphérique dépassant les seuils réglementaires de recommandations et d'alerte monopolisent souvent l'attention et sont perçus comme des situations « d'alerte sanitaire ». Or cette étude montre que les effets sanitaires apparaissent déjà à des niveaux de pollution bien inférieurs à ceux pour lesquels les mesures sont prises actuellement.

Ainsi, le strict respect des niveaux réglementaires permettrait un gain sanitaire d'au maximum 22 % de l'impact total tandis qu'une réduction des niveaux de pollution de 25 % serait accompagnée d'une réduction de 32 % à 44 % des effets sanitaires.

En pratique, cela signifie qu'une politique locale de gestion des risques qui ne viserait qu'à éviter les dépassements des seuils réglementaires n'aurait qu'un impact marginal en termes de bénéfices sur la santé publique. Les actions les plus efficaces sont celles qui visent à réduire les émissions à la source, de façon quotidienne, même si les actions de diminution des « pics » de pollution doivent être maintenues en parallèle. La pollution atmosphérique sur l'agglomération étant principalement d'origine automobile, il faudrait réduire les émissions automobiles dans leur ensemble. Il serait illusoire de considérer que l'abaissement d'un polluant spécifique, qui n'est qu'un indicateur d'un état complexe de l'atmosphère, conduirait à un bénéfice sanitaire significatif.

6.3. Des résultats à enrichir et à communiquer

Une des sources d'incertitude lors de la réalisation d'une EIS provient de l'estimation des expositions, au moyen du réseau de mesure des émissions urbaines. Des améliorations pourraient être réalisées au niveau du réseau de surveillance de la qualité de l'air afin de mieux connaître la distribution géographique de ces émissions urbaines en polluants.

Une meilleure connaissance des budgets espace-temps de la population permettrait également de mieux estimer les niveaux d'exposition réels à la pollution atmosphérique.

Une autre limite importante pourrait être levée si l'on disposait d'indicateurs de santé recueillis en population générale, notamment la prévalence de l'asthme en fonction de sa sévérité, qui permettrait de mesurer l'impact de la pollution atmosphérique sur l'incidence des crises d'asthme et ne pas rester cantonné aux effets nécessitant une hospitalisation.

La communication des résultats de cette étude aux décideurs locaux, aux médias et au public devrait permettre :

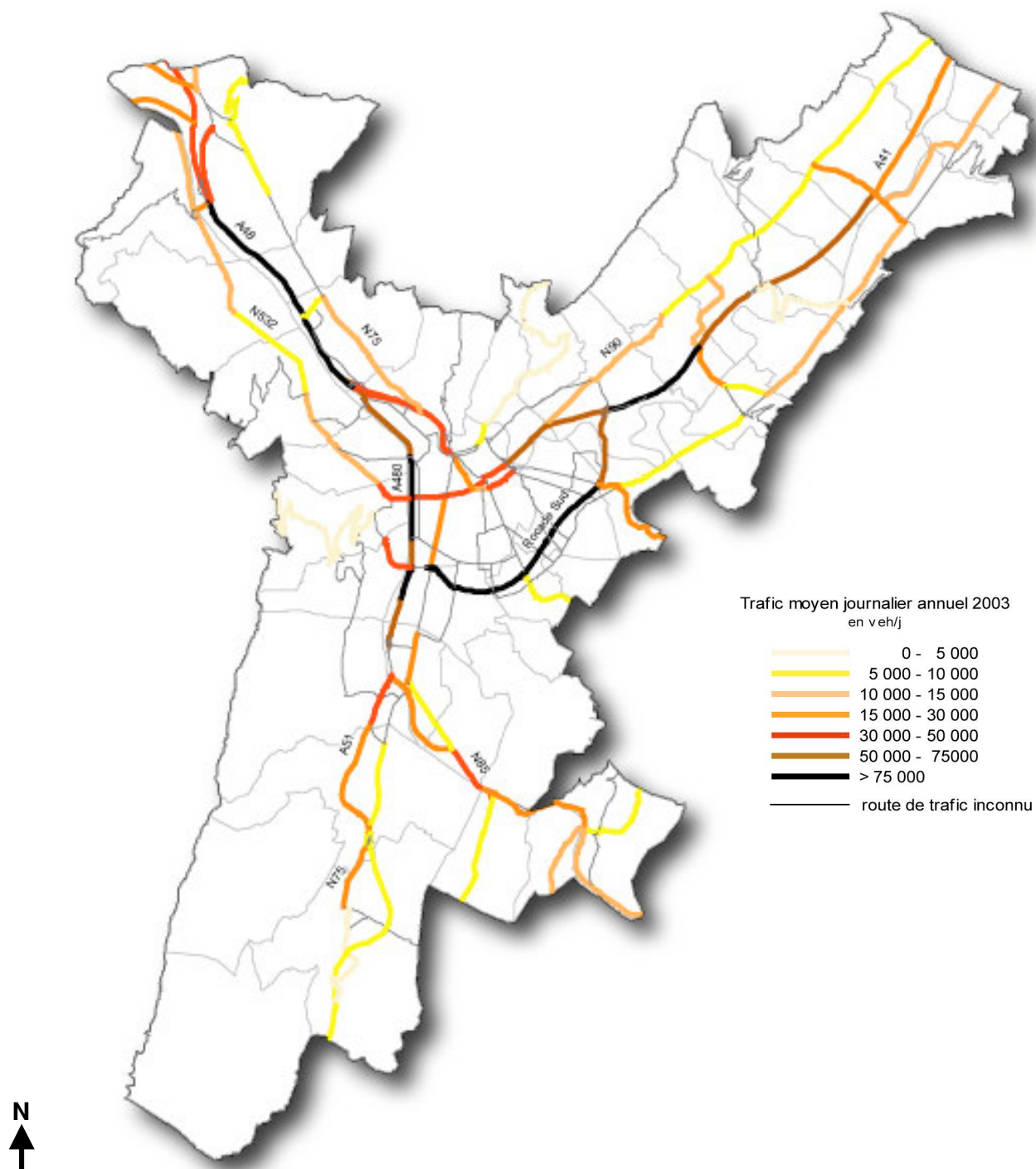
- une meilleure sensibilisation aux dangers de la pollution atmosphérique respirée quotidiennement par l'ensemble de la population (notamment présence d'effets pour des niveaux en deçà des normes, grand nombre de personnes exposées et importance de la pollution chronique par rapport aux « pics ») ;
- de relativiser les effets sanitaires des « pics » de pollution ;
- de construire une politique de réduction de la pollution atmosphérique plus efficace en terme d'impact sur la santé publique.

7. Références bibliographiques

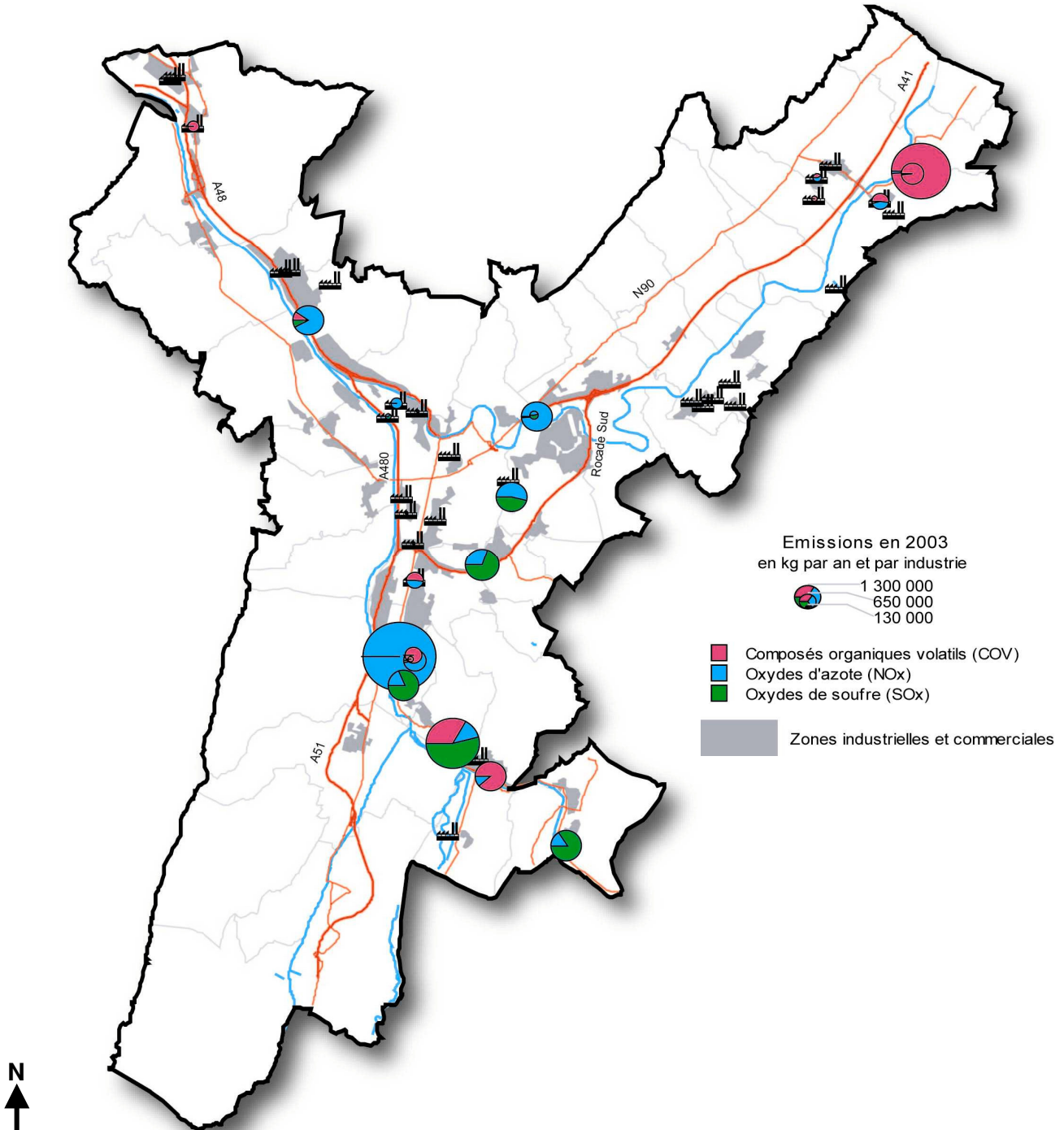
1. Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. Journal Officiel de la République Française, 1^{er} janvier 1997.
2. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement - Préfecture de la Région Rhône-Alpes. Plan Régional pour la qualité de l'air, Région Rhône-Alpes.
3. Préfecture de l'Isère. Plan de protection de l'atmosphère de Grenoble. Projet d'état des lieux. 15 février 2005, 95 pages.
4. Institut de Veille Sanitaire. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine, guide méthodologique. Institut de Veille Sanitaire. France. Juillet 1999. 48 pages.
5. Institut de Veille Sanitaire. Évaluation 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 et manuel d'utilisation du logiciel EIS-PA version 2.0. Institut de Veille Sanitaire. France. Mars 2003. 37 pages.
6. Extrait de "GEO-ALP" (<http://www.geol-alp.com>, 2005)
7. Météo France. Site Internet.
http://www.meteofrance.com/FR/climat/dpt_tempsdumois.jsp?LIEUID=DEPT38
8. Insee (Institut national de la statistique et des études économiques). Recensement de la population de 1999.
9. Fontelle JP, Chang JP, Audoux N et al. Inventaires d'émissions dans l'atmosphère dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air. Région Rhône-Alpes. Citepa octobre 1997.
10. OMS (Organisation mondiale de la santé). Guidelines for Air Quality, Geneva 2000.
11. OMS (Organisation mondiale de la santé). Quantification of Health Effects of Exposure to Air Pollution Report on a WHO Working Group Bilthoven, Netherlands 20–22 November 2000, WHO Regional Office for Europe. 2001, 30 pages.
12. Pope CA III, Burnett RT, Thun MJ et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA 2002, 287(9):132-41.
13. Institut de Veille Sanitaire. Programme de surveillance Air et Santé – 9 villes. Rapport phase II. Institut de Veille Sanitaire. Juin 2002. 181 pages.
14. Katsouyanni K. et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality : results from 29 European cities within the APHEA 2 project. Epidemiology 2001, 12(5):521-31.
15. Atkinson RW et al. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA2 project. Air Pollution and Health: a European Approach. Am J Respir Crit Care Med 2001,164(10pt1):1860-6.
16. 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 la Santé d'Ile de France, Paris, 1997.
17. Spix C. et al. Short term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of APHEA study results. Archives of Environmental Health 1998,53-53:64.

18. Poloniecki et al. S. Daily times series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK. *Occupational Environmental Medicine* 1997,54:535-40.
19. Künzli N, Kaiser R, Medina S et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 2000, 356(9232):795-801.

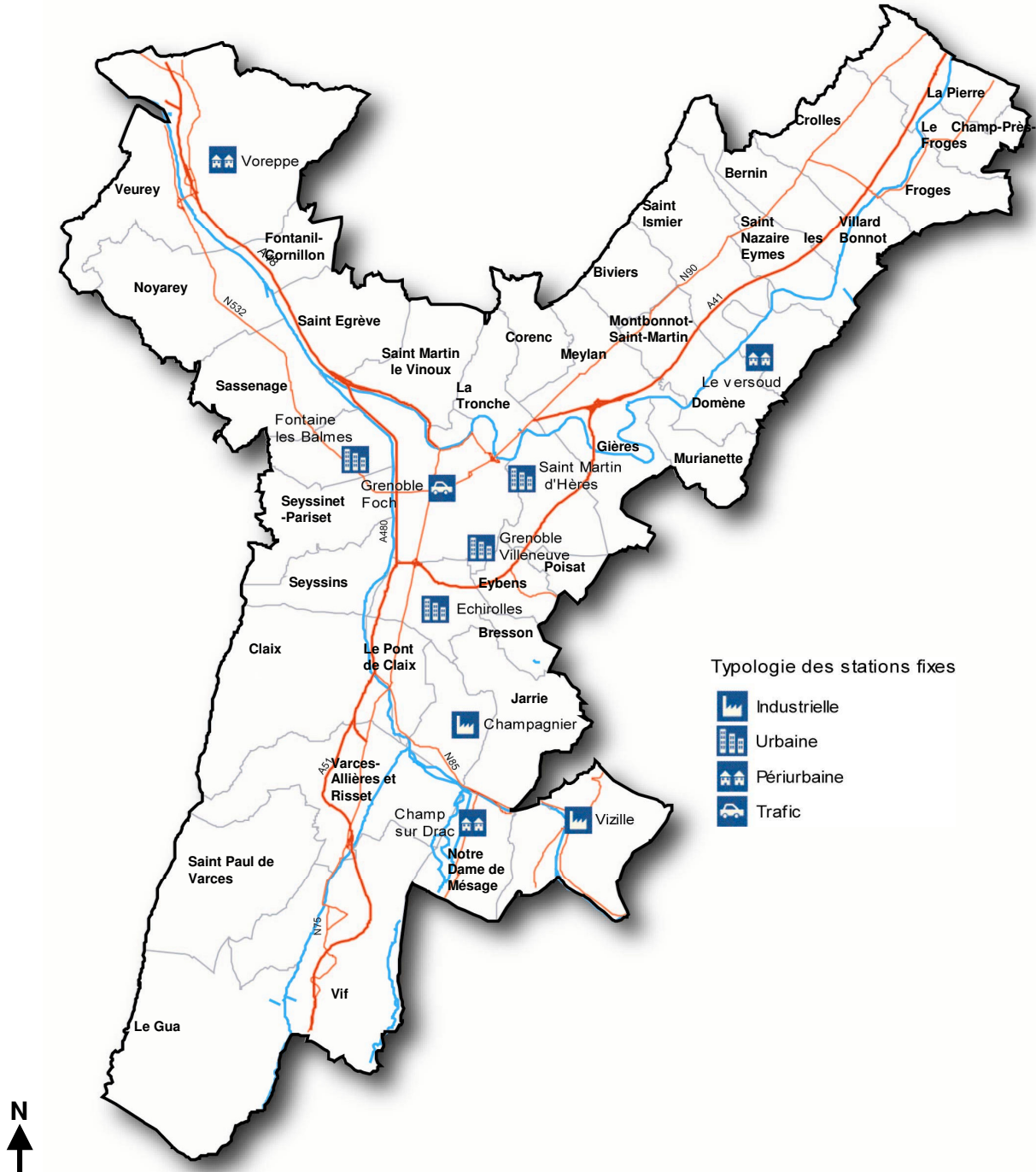
Annexe 1 : Principales voies de communication dans la zone d'étude [3]



Annexe 2 : Principales sources d'émissions industrielles dans la zone d'étude [3]



Annexe 3 : Emplacement des stations de mesure de la qualité de l'air [3]



Annexe 4 : Distribution des immissions polluantes urbaines

O₃ Distribution des concentrations en O₃ par station (µg/m³)

	Station	Fontaine Les Balmes	Grenoble Villeneuve	St Martin d'Hères
Eté	Minimum	35	41	28
	Percentile 5	53	56	45
	Percentile 25	78	82	73
	Médiane	91	96	88
	Percentile 75	106	116	103
	Percentile 95	135	144	125
	Maximum	151	160	144
	Moyenne	92	98	88
	Ecart-type	23	25	24
	% valeurs manquantes	1%	0%	1%

Coefficient de corrélation entre stations pour l'O₃

Station	Fontaine Les Balmes	Grenoble Villeneuve	St Martin d'Hères
Fontaine Les Balmes	1,000	0,857	0,864
Grenoble Villeneuve		1,000	0,969
St Martin d'Hères			1,000

NO₂ Distribution des concentrations en NO₂ par station (µg/m³)

	Station	Fontaine Les Balmes	Grenoble Villeneuve	St Martin d'Hères
Période totale	Minimum	7	7	8
	Percentile 5	16	14	16
	Percentile 25	24	23	24
	Médiane	31	33	31
	Percentile 75	43	44	39
	Percentile 95	60	65	53
	Maximum	86	80	73
	Moyenne	35	35	32
	Ecart-type	15	15	12
	% valeurs manquantes	7%	1%	5%
Hiver	Minimum	7	11	10
	Percentile 5	20	17	20
	Percentile 25	30	30	28
	Médiane	41	41	36
	Percentile 75	52	55	47
	Percentile 95	72	69	58
	Maximum	86	80	73
	Moyenne	42	42	38
	Ecart-type	15	16	12
	% valeurs manquantes	3%	1%	6%
Eté	Minimum	11	7	8
	Percentile 5	14	13	14
	Percentile 25	20	21	21
	Médiane	26	27	27
	Percentile 75	31	34	32
	Percentile 95	44	42	41
	Maximum	58	55	50
	Moyenne	27	27	27
	Ecart-type	9	9	8
	% valeurs manquantes	10%	0%	4%

Coefficients de corrélation entre stations pour le NO₂

Station	Fontaine Les Balmes	Grenoble Villeneuve	St Martin d'Hères
Fontaine Les Balmes	1,000	0,938	0,856
Grenoble Villeneuve		1,000	0,901
St Martin d'Hères			1,000

PM₁₀ Distribution des concentrations en PM₁₀ par station (µg/m³)

	Station	Fontaine Les Balmes	Grenoble Villeneuve	St Martin d'Hères
Période totale	Minimum	3	2	4
	Percentile 5	8	6	8
	Percentile 25	14	12	14,5
	Médiane	22	19	23
	Percentile 75	30	28	34
	Percentile 95	41	47,3	58
	Maximum	77	69	82
	Moyenne	23	21	26
	Ecart-type	11	12	16
% valeurs manquantes	25%	3%	7%	
Hiver	Minimum	3	3	4
	Percentile 5	8	6	7
	Percentile 25	17	13	17
	Médiane	28	24	31
	Percentile 75	35	34	45
	Percentile 95	46	51	67
	Maximum	77	69	82
	Moyenne	28	25	32
	Ecart-type	13	15	19
% valeurs manquantes	49%	2%	10%	
Eté	Minimum	5	2	4
	Percentile 5	8	7	8
	Percentile 25	13	11	13
	Médiane	19	17	21
	Percentile 75	27	23	28
	Percentile 95	36	31	35
	Maximum	48	50	53
	Moyenne	20	18	21
	Ecart-type	9	8	9
% valeurs manquantes	1%	4%	0%	

Coefficient de corrélation entre stations pour les PM₁₀

Station	Fontaine Les Balmes	Grenoble Villeneuve	St Martin d'Hères
Fontaine Les Balmes	1,000	0,890	0,871
Grenoble Villeneuve		1,000	0,961
St Martin d'Hères			1,000

Annexe 5 : Nombres de cas annuels attribuables pour chaque indicateur sanitaire et chaque indicateur d'exposition étudiés

	Indicateur d'exposition	Nombre de cas attribuables	IC 95%
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	O ₃ été	47	20-68
	NO₂	67	47-87
	PM ₁₀	24	16-32
Mortalité cardio-vasculaire	O ₃ été	22	8-37
	NO₂	25	10-38
Mortalité respiratoire	O ₃ été	5	2-8
	NO₂	7	3-11
Morbidité respiratoire chez les 15-64 ans	O ₃ été	9*	-5-23
	NO ₂	5*	-8-18
Morbidité respiratoire chez les 65 ans et plus	O₃ été	18	9-32
	NO ₂	10*	-10-32
	PM ₁₀	14	9-20
Morbidité cardiovasculaire	NO₂ été	58	34-82
	NO₂ hiver	105	62-147
Morbidité cardiaque tous âges	PM₁₀	25	10-40
Morbidité cardiaque chez les 65 ans et plus	PM₁₀	23	13-33

* résultat non significatif

