

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

Alexandra THABUIS

Ont contribué à cette étude :

Direction régionale des affaires sanitaires et sociales d'Auvergne, Clermont-Ferrand :

Alain BLINEAU (service santé-environnement)

Huguette PERRIER (service statistique)

Atmo Auvergne (Association agréée de surveillance de la qualité de l'air de l'Auvergne),
Clermont-Ferrand :

Serge PELLIER

Géraldine LE NIR

Photo couverture : Atmo Auvergne

Résumé

L'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Clermont-Ferrand s'inscrit dans le cadre du Plan régional pour la qualité de l'air (PRQA) de la région Auvergne, qui fixe les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique.

Dans cette étude, l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique est calculé en 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 retenue correspond à une zone urbaine où l'exposition de la population à la pollution atmosphérique peut être considérée comme homogène. Elle est composée de quatre communes : Clermont-Ferrand, Chamalières, Beaumont et Aubière, représentant une population totale de 175 938 habitants. La période d'étude s'étend sur deux saisons tropiques, du 1^{er} octobre 1999 au 30 septembre 2000.

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 cinq polluants mesurés en routine sur la zone : SO₂, NO₂, O₃, FN et 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 28 décès anticipés, 8 admissions hospitalières pour motif respiratoire, 50 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire en hiver et 24 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 % des niveaux moyens annuels de pollution.

L'impact sanitaire à long terme de la pollution atmosphérique s'élève à 69 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 26 % ; quant à une diminution de 25 % des niveaux 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 des 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.

Abréviations et symboles

Aphea : Air pollution and health : a European approach
Cim : Classification internationale des maladies
Cire : Cellule interrégionale d'épidémiologie
Citepa : Centre interprofessionnel d'étude de la pollution atmosphérique
Drass : Direction régionale des affaires sanitaires et sociales
EIS : Evaluation d'impact sanitaire
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
PMSI : Programme de médicalisation des systèmes d'information
Psas-9 : Programme de surveillance air et santé 9 villes
PRQA : Plan régional pour la qualité de l'air
Rum : Résumé d'unité médicale
RSA : Résumé de sortie anonymisé

BTX : Benzène Toluène Xylène
CO : monoxyde de carbone
COVNM : composés organiques volatils non méthaniques
FN : fumées noires
NO : monoxyde d'azote
NO₂ : dioxyde d'azote
NO_x : oxydes d'azote
O₃ : ozone
PM₁₀ : particules en suspension dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm
PM_{2,5} : particules en suspension dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5 µm
SO₂ : dioxyde de soufre

Sommaire

1. INTRODUCTION	9
2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE	10
2.1. MÉTÉOROLOGIE ET TOPOGRAPHIE.....	11
2.1.1. Topographie.....	11
2.1.2. Climat.....	11
2.2. POPULATION ET DÉPLACEMENTS.....	11
2.2.1. Nombre d'habitants et densités de population.....	11
2.2.2. Déplacements domicile-travail.....	12
2.3. SOURCES DE POLLUTION.....	12
2.4. SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR.....	13
2.5. SYNTHÈSE DES CRITÈRES DE SÉLECTION DE LA ZONE D'ÉTUDE	14
3. MATÉRIEL ET MÉTHODE DE L'EIS	15
3.1. IDENTIFICATION DES DANGERS	15
3.1.1. Effets à court terme.....	15
3.1.2. Effets à long terme.....	15
3.2. CHOIX DES RELATIONS EXPOSITION-RISQUE.....	15
3.2.1. Court terme	16
3.2.2. Long terme	17
3.3. ESTIMATION DE L'EXPOSITION	17
3.4. CARACTÉRISATION DU RISQUE.....	18
3.4.1. Principe du calcul.....	18
3.4.2. Recueil des données sanitaires.....	19
4. RÉSULTATS DE L'EIS	20
4.1. ESTIMATION DE L'EXPOSITION	20
4.1.1. Niveaux d'exposition	20
4.1.1.1. <i>Choix des polluants</i>	20
4.1.1.2. <i>Définition de la période d'étude</i>	20
4.1.1.3. <i>Sélection des stations</i>	21
4.1.1.4. <i>Construction des indicateurs d'exposition</i>	21
4.2. CARACTÉRISATION DU RISQUE.....	25
4.2.1. Indicateurs sanitaires	25
4.2.1.1. <i>Mortalité</i>	25
4.2.1.2. <i>Admissions hospitalières</i>	25
4.2.2. Estimation de l'impact sanitaire à court terme	26
4.2.2.1. <i>Impact sanitaire total (scénario 1)</i>	26
4.2.2.2. <i>Impact sanitaire par niveaux de pollution</i>	27
4.2.2.3. <i>Gain sanitaire lié à une diminution des niveaux dépassant les valeurs réglementaires en vigueur pour chaque polluant (scénario 2)</i>	28
4.2.2.4. <i>Gain sanitaire lié à une réduction de 25 % de la moyenne annuelle pour chaque polluant (scénario 3)</i>	28
4.2.2.5. <i>Comparaison aux résultats du Psas-9 (phase II)</i>	29
4.2.3. Estimation de l'impact sanitaire à long terme	30
4.2.3.1. <i>Impact sanitaire total</i>	30
4.2.3.2. <i>Gains sanitaires attendus pour 4 scénarios de réduction de la pollution atmosphérique</i>	30

5. DISCUSSION	31
5.1. HYPOTHÈSES, LIMITES ET INCERTITUDES DE L'EIS	31
5.1.1. Identification des dangers	31
5.1.2. Choix des relations exposition-risque	31
5.1.3. Estimation de l'exposition	32
5.1.4. Caractérisation du risque	32
5.2. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.....	33
6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	34
6.1. UN IMPACT COLLECTIF NON NÉGLIGEABLE.....	34
6.2. UN IMPACT DÛ AUX NIVEAUX HABITUELS PLUTÔT QU'AUX PICS DE POLLUTION ...	34
6.3. DES RÉSULTATS À ENRICHIR ET À COMMUNIQUER	35
7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	36
ANNEXE 1 : ZONE D'ÉTUDE ET EMPLACEMENT DES STATIONS DE MESURE DE LA QUALITÉ DE L'AIR	38
ANNEXE 2 : DISTRIBUTION DES IMMISSIONS POLLUANTES URBAINES.....	39
ANNEXE 3 : NOMBRES DE CAS ANNUELS ATTRIBUABLES POUR CHAQUE INDICATEUR SANITAIRE ET CHAQUE INDICATEUR D'EXPOSITION ÉTUDIÉS	44

1. Introduction

La Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 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 notamment la mise en place de Plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA), relevant initialement de la responsabilité des préfets de région et désormais à la charge des présidents des conseils régionaux. Les PRQA fixent les orientations permettant de prévenir ou de réduire la pollution atmosphérique ou d'en atténuer les effets. Ils comprennent une évaluation de la qualité de l'air dans la région considérée ainsi qu'une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé.

C'est dans le cadre du PRQA de la région Auvergne que s'inscrit cette étude. Son objectif est de quantifier l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique au niveau de la région. 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 [InVS 1999]. En attendant l'actualisation du guide, l'InVS a émis en 2003 des recommandations provisoires, permettant notamment la réalisation d'EIS long terme [InVS 2003].

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, à travers 4 scénarios de réduction de la pollution.

En raison des contraintes méthodologiques de l'étude et de la disponibilité des données – en particulier le manque de coïncidence des périodes sur les indicateurs d'exposition et les indicateurs sanitaires – l'EIS a dû dans un premier temps être limitée, dans la région Auvergne, à l'agglomération clermontoise.

2. Description de la zone d'étude

L'agglomération de Clermont-Ferrand est la principale agglomération de la région Auvergne. Avec 258 541 habitants, elle regroupe 43 % de la population du Puy-de-Dôme sur 2 % de sa superficie. C'est également le principal bassin d'emploi du Puy-de-Dôme, puisqu'elle offre 56 % des emplois du département.

L'agglomération clermontoise est constituée de 17 communes [Insee 1999].

La zone retenue pour l'EIS ne couvre pas l'ensemble des 17 communes car toutes ne remplissent pas les critères de sélection de la zone d'étude¹ :

- les communes doivent être continues en terme d'urbanisation et présenter des densités de population comparables, afin de respecter au mieux la condition de l'homogénéité de la population sur la zone ;
- seules les communes entières sont retenues, car les données sanitaires sont accessibles uniquement par communes ;
- la répartition des émissions doit être assez homogène sur la zone, afin de respecter au mieux la condition de l'homogénéité de la pollution sur la zone (construction d'un seul indicateur d'exposition pour toute la zone) ;
- la population de la zone doit être exposée la majeure partie de son temps à l'indicateur d'exposition calculé et doit donc résider majoritairement dans la zone d'étude ;
- les mesures de pollution effectuées sur la zone d'étude doivent être « suffisantes » (nombre de capteurs bien placés, qualité des mesures, disponibilité des données) pour estimer l'exposition de la population.

Ainsi, sur l' agglomération clermontoise, la zone comprend 4 communes Clermont-Ferrand, Chamalières, Beaumont et Aubière, correspondant à une superficie de 58,1 km².

Les paramètres intervenant dans l'EIS et ceux justifiant la sélection des 4 communes sont décrits ci-après.

¹ La zone d'étude est une zone urbaine sans rupture d'urbanisation, où la majorité de la population séjourne en permanence et où la qualité de l'air et la répartition des émissions peuvent être considérées, *a priori*, comme homogènes [InVS 1999].

2.1. Météorologie et topographie

2.1.1. Topographie

L'agglomération de Clermont-Ferrand est située au nord du Massif Central, à une altitude moyenne de 400 m. Elle présente une configuration topographique en demi-cuvette, fermée au Nord par les Côtes de Clermont et le Puy de Chanturgue (550 m), à l'Ouest par la Chaîne des Puys avec le Puy de Dôme qui culmine à 1465 m, et au Sud par le plateau de Gergovie et les pentes de Montrognon (700 m). La partie Est s'ouvre sur la plaine de la Limagne (en moyenne 300 m d'altitude), et constitue l'unique direction dégagée de tout relief.

Cette configuration particulière joue généralement un rôle pénalisant en terme de qualité de l'air, les diverses barrières topographiques limitant le transport et la dispersion des polluants [Atmo Auvergne].

2.1.2. Climat

L'agglomération de Clermont-Ferrand connaît un régime continental marqué, avec une sécheresse hivernale et de forts orages en fin de printemps et été. Abrisée des perturbations atlantiques par la chaîne des Puys, sa pluviométrie annuelle figure parmi les plus faibles de France (592 mm/an). Sa température moyenne annuelle est voisine de 11 °C [Meteo France].

Globalement les vents sont de direction sud-nord. Les pointes de pollution se produisent par vents faibles (assez fréquents dans la cuvette par effet de fœhn) ou par vent de nord-est (assez rare) empêchant la pollution de sortir de la demi-cuvette.

2.2. Population et déplacements

2.2.1. Nombre d'habitants et densités de population

Au recensement 1999, les 4 communes concernées regroupent 175 938 habitants pour une surface d'environ 58 km². La commune de Clermont-Ferrand couvre 73 % de cette superficie et totalise 137 154 habitants. La densité globale est de 3 028 hab/km².

Tableau 1. Population, superficie et densité de population des communes de la zone d'étude [Insee 1999]

Commune	Population sans double compte	Superficie (km ²)	Densité (habitants/km ²)
Aubière	9 915	7,65	1 296
Beaumont	10 741	4,01	2 679
Chamalières	18 128	3,77	4 808
Clermont-Ferrand	137 154	42,67	3 214
Ensemble zone d' étude	175 938	58,10	3 028

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 [Insee 1999]

Tranches d'âge	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	30 ans et +
Ensemble zone d' étude	23 856	124 461	27 621	101 461

2.2.2. Déplacements domicile-travail

Tableau 3. Navettes domicile-travail de la population de la zone d'étude [Insee 1999]

Communes de la zone d'étude	Popula-tion	Actifs ayant un emploi	Actifs travaillant dans leur commune de résidence			Actifs travaillant dans une autre commune de la zone d'étude			Population quittant la zone d'étude pour aller travailler		
			Effec-tif	% actifs	% pop.	Effec-tif	% actifs	% pop.	Effec-tif	% actifs	% pop.
Aubière	9 915	3 520	880	25,0 %	8,9 %	1 924	54,7 %	19,4 %	716	20,3 %	7,2 %
Beaumont	10 741	4 750	738	15,5 %	6,9 %	3 071	64,7 %	28,6 %	941	19,8 %	8,8 %
Chamalières	18 128	7 854	1 907	24,3 %	10,5 %	4 381	55,8 %	24,2 %	1 566	19,9 %	8,6 %
Clermont-Ferrand	137 154	52 167	38 598	74,0 %	28,1 %	3 536	6,8 %	2,6 %	10 033	19,2 %	7,3 %
Ensemble zone d' étude	175 938	68 291	42 123	34,7 %	13,6 %	12 912	45,5 %	18,7 %	13 256	19,8 %	8,0 %

Plus de 80 % des déplacements domicile-travail s'effectuent à l'intérieur de la zone d'étude (34,7 % des actifs travaillent dans leur commune de résidence et 45,5 % d'entre eux travaillent dans une autre commune de la zone d'étude).

Autrement dit, 19,8 % des actifs quittent quotidiennement la zone d'étude pour aller travailler, ce qui ne représente que 8,0 % de la population totale résidente. On peut donc considérer que la très grande majorité des personnes résidentes (92 %) 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 [Citepa 1997]. Le tableau 4 présente les résultats pour l'unité urbaine de Clermont-Ferrand.

Tableau 4. Emissions de polluants atmosphériques dans l'unité urbaine de Clermont-Ferrand [Citepa 1997]

Polluants	SO ₂	NO _x	COVNM	CO
Emissions (tonnes)	1632	2573	8085	36495
<i>Origines principales en % de l'émission totale</i>				
Extraction et transformation d' énergie (%)	15,6	1,9	4,3	0,1
Résidentiel et tertiaire (%)	33,4	15,7	20,7	21,6
Industrie et traitement des déchets (%)	27,0	6,2	22,3	0,2
Transport routier (%)	23,3	73,5	47,3	76,9

Les émissions de NO_x, COVNM et CO sont principalement imputables aux transports routiers, avec respectivement 73,5 %, 47,3 % et 76,9 % 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 résidentiel et tertiaire avec une contribution de 33,4 %.

Dans l'agglomération clermontoise, le transport routier constitue donc la principale source de pollution atmosphérique.

2.4. Surveillance de la qualité de l'air

La surveillance de la qualité de l'air sur l'agglomération clermontoise est assurée par le réseau de surveillance Atmo Auvergne. 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 sur la zone d'étude retenue, décrites dans les tableaux 5 et 6 (voir également leur implantation en annexe 1).

Tableau 5. Classification des stations de la zone d'étude [Atmo Auvergne]

Station	Type de Station	Densité de population (hab/km ²)*	Environnement immédiat de la station	Sources de pollution	Hauteur de prélèvement†	Polluants mesurés	Date de mise en place
Centre-ville	urbain	11 540	centre-ville ; site dégagé sur 180° ; voie de circulation à quelques dizaines de mètres (> 20 000 véhicules/j)	pollution urbaine (automobile, chaufferie...)	3,5 m	CO, FN, NO, NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ , SO ₂	01.01.1989
Cézeaux	urbain / trafic **	4 860	en hauteur par rapport à la route ; plusieurs bâtiments de l'autre côté	pollution urbaine	7 m	FN, NO, NO ₂ , SO ₂	21.01.1993
Delille	urbain	7 975	dans la cour d'une résidence (parking) ; arbres à proximité	pollution urbaine	3,5 m	NO, NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2,5} ,	24.12.1997
Jaude	urbain	11 340	sur un toit du centre-ville	pollution urbaine	15 m	NO ₂ , O ₃ , SO ₂	13.05.1999
Gravanches	périurbain	70	dans cabine de radioactivité ; arbres sur 180° ; dégagé de l'autre côté ; autoroute à 150 m	industrie et autoroute (peu d'influence)	3,5 m	NO, NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , radioactivité ambiante	01.08.1991
Montferrand	urbain	3 980	dans cour d'école ; 35000 véhicules/j à 100 m (2x2 voies)	industrie et circulation automobile	3,5 m	FN, NO, NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂	06.02.1993
Gaillard	trafic	10 165	rue canyon avec très mauvaise dispersion	circulation automobile	3,5 m	BTX, CO, FN, NO, NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂	30.12.1996

* dans un rayon de 1 km

** de type trafic mais peut être considérée comme une station de type urbain du fait de la hauteur de prélèvement [Atmo Auvergne]

Tableau 6. Description du réseau [Atmo Auvergne]

Polluant	Stations de mesure	Méthode de mesure
NO ₂	Centre-ville, Delille, Cézeaux, Gaillard, Montferrand, Gravanches	Chimiluminescence
SO ₂	Centre-ville, Cézeaux, Gaillard, Montferrand, Gravanches	Fluorescence UV
O ₃	Centre-ville, Delille, Cézeaux, Gaillard, Montferrand, Gravanches	Absorption UV
FN	Centre-ville, Cézeaux, Gaillard, Montferrand	Opacité FN et réflectométrie
PM ₁₀	Centre-ville, Delille, Gaillard, Montferrand	Micro-balance
NO ₂ , O ₃ , SO ₂	Jaude	DOAS

Le tableau 7 compare les niveaux moyens de pollution sur l'agglomération clermontoise pour l'année tropique 1999-2000 aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)².

Tableau 7. Niveau moyens de pollution sur l'agglomération clermontoise pour l'année tropique 1999-2000 [Atmo Auvergne]

Polluants	Centre-ville	Cézeaux	Delille	Jaude	Gravanches	Montferrand	Royat	Gaillard	Valeurs guides OMS 2000 (µg/m ³)
SO ₂ (moyenne 24h annuelle)	5	6	-	7	3	6	5	13	50
NO ₂ (moyenne 24h annuelle)	34	30	33	37	25	31	15	57	40
O ₃ (moyenne 8h estivale)	84	-	85	76	87	89	-	-	-
O ₃ (moyenne 8h maximale)	136	-	146	114	144	149	-	-	120

Seule la station Gaillard, qui est une station trafic, présente une concentration annuelle en NO₂ dépassant la valeur guide de l'OMS. Concernant les concentrations maximales en O₃ observées sur 8 heures, toutes les stations sauf la station Jaude ont enregistré au moins une fois une valeur supérieure à la valeur guide de l'OMS.

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

Dans un premier temps, la zone d'étude a été délimitée en fonction du critère de continuité urbaine entre les communes. Les communes de Aulnat, Blanzat, Cébazat, Ceyrat, Châteaugay, Cournon-d'Auvergne, Gerzat, Le Cendre, Lempdes, Nohanent et Romagnat ont été écartées car elles étaient disjointes du reste de l'agglomération. Les communes de Royat et Durtol, retenues au départ malgré une légère discontinuité d'urbanisation avec la zone d'étude, ont finalement été écartées à cause d'une densité de population plus faible et d'une hétérogénéité de la pollution due à leur configuration topographique.

Sur la zone d'étude retenue, les autres critères ont été vérifiés :

- 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.

² Guidelines for Air Quality, WHO, Geneva 2000

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 clermontoise [InVS 1999, InVS 2003]. 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

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.

3.1.1. Effets à court terme

Il s'agit des effets dus à une exposition de courte durée. 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, et les personnes âgées. Les effets sont majorés par l'exercice physique.

Concernant la mortalité, il s'agit 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 totale, cardio-vasculaire et respiratoire et 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 prématurés. Contrairement aux effets survenant à court terme, ils concernent l'ensemble de la population exposée.

L'indicateur sanitaire retenu pour l'étude est la mortalité totale.

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 européennes à celles menées dans 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 µg/m³ des niveaux d' indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution	RR	IC 95 %	Etude retenue
O ₃	1,007	1,003-1,010	Psas-9 phase II
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

Tableau 9. Risques relatifs de mortalité cardio-vasculaire pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d' indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution	RR	IC 95 %	Etude retenue
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 µg/m³ des niveaux d' indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution	RR	IC 95 %	Etude retenue
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 µg/m³ des niveaux d' indicateurs de pollution

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

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	RR	IC 95 %	Etude retenue
FN	1,011	1,004-1,018	Aphea 2
FN ≥ 65 ans	1,013	1,004-1,022	Aphea 2
PM ₁₀	1,005	1,002-1,008	Aphea 2
PM ₁₀ ≥ 65 ans	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	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., qui est également proposées par l'OMS [InVS 2003].

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	Étude tri-nationale [Künzli 2000]

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.

Après avoir sélectionné les stations représentatives de l'exposition de la population générale (stations urbaines qui mesurent des niveaux moyens proches et bien corrélées entre elles), on calcule, pour chaque polluant retenu, l'indicateur journalier d'exposition qui est la moyenne arithmétique des moyennes journalières (ou moyennes 8h pour l'ozone) 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 sanitaires attribuables au niveau de pollution considéré, pour une période donnée

RR = risque relatif associé au niveau de pollution donné (fourni par la relation 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 :

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

où : NA = nombre de cas attribuables pour la période considérée

N = nombre moyen d'évènements sanitaires au cours de la période considérée

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'évènements 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)³, cardio-vasculaire⁴ et respiratoire⁵ ; 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 d'Auvergne. Le motif d' admission n' étant pas disponible dans ce système d' information, il est approché par le diagnostic principal (DP) de la première unité médicale fréquentée. Ont donc été comptabilisés les nombres de premiers Résumés d'unité médicale (Rum) contenant un DP respiratoire⁶, cardio-vasculaire⁷ ou cardiaque⁸ pour les patients hospitalisés pendant plus de 24h en provenance de leur domicile.

³ codes Cim 9<800 / codes Cim 10<S00

⁴ codes Cim 9 : 390-459 / codes Cim 10 : I00-I99

⁵ codes Cim 9 : 460-519 / codes Cim 10 : J00-J99

⁶ codes Cim 9 : 460-519 / codes Cim 10 : J00-J99, pour les classes d'âge 15-64 ans et ≥65 ans

⁷ codes Cim 9 : 390-459 / codes Cim 10 : I00-I99, pour tous âges

⁸ codes Cim 9 : 390-429 / codes Cim 10 : I00-I52, pour les classes d'âge ≥65 ans et tous âges

4. Résultats de l'EIS

4.1. Estimation de l'exposition

4.1.1. Niveaux d'exposition

4.1.1.1. Choix des polluants

Parmi les polluants surveillés sur l'agglomération clermontoise (BTX, CO, FN, NO, NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂), les indicateurs de pollution SO₂, NO₂, O₃, FN et PM₁₀ pour lesquels on dispose de relations exposition-risque, ont été retenus pour l'étude.

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

4.1.1.2. Définition de la période d'étude

La période d'étude a été définie en fonction de la disponibilité de données, c' est-à-dire en fonction de la date de l'installation des capteurs et l'existence de valeurs manquantes.

Elle est définie sur deux saisons tropiques complètes, du 01/10/1999 au 31/03/2000 et du 1/04/2000 au 30/09/2000.

Afin de vérifier que l'année retenue n'est pas une année particulière en terme de pollution, les paramètres météorologiques (facteurs intervenant dans la dispersion des polluants) de cette année ont été comparés à ceux des 9 années précédentes.

Tableau 15. Comparaison des paramètres météorologiques de l'année tropique 1999-2000 avec ceux des années 1991-1999 [Météo France]

	Paramètres météorologiques											
	Durée moyenne de l'insolation (heure)			Nombre moyen de jours de vent fort*			Nombre moyen de jours avec pluie			Température moyenne		
	an	hiver	été	an	hiver	été	an	hiver	été	an	hiver	été
Année 1999-2000	9 907	6 797	13 017	4	5	4	83	38	45	11,9	6,8	17,0
Années 1991-1999	9 341	6 319	12 364	5	6	3	86	37	49	11,8	6,9	16,6

* (>16 m/s)

Les paramètres météorologiques sont du même ordre de grandeur. L'année étudiée peut donc être considérée comme représentative de la situation habituelle rencontrée sur la zone d'étude.

4.1.1.3. Sélection des stations

L'étude a porté sur toutes les stations de la zone d'étude et a été réalisée sur la période définie précédemment. Les niveaux mesurés par la station trafic Gaillard étaient toujours nettement supérieurs à l'ensemble des autres stations, elle a donc été écartée. Cela confirme que cette station est largement influencée par la circulation automobile.

La distribution saisonnière des immissions de polluants sur la période d'étude, ainsi que les corrélations entre stations sont présentées en annexe 2.

Parmi les 5 stations mesurant le SO₂ dans la zone d'étude, les distributions des stations Centre-ville, Cézeaux, Jaude et Montferrand sont similaires (moyennes situées entre 5 et 7 µg/m³) et les coefficients de corrélations sont tous supérieurs à 0,653.

Par contre, les niveaux enregistrés à la station Gravanches sont un peu plus faibles (3 µg/m³) et les coefficients de corrélation avec les autres stations sont extrêmement bas.

Les stations sélectionnées pour la construction de l'indicateur d'exposition sont donc : Centre-ville, Cézeaux, Jaude et Montferrand.

Les distributions des 6 stations mesurant le NO₂ sont comparables (moyennes comprises entre 25 et 37 µg/m³) et leurs coefficients de corrélation sont supérieurs à 0,758.

L'ensemble de ces stations (Centre-ville, Cézeaux, Delille, Jaude, Gravanches et Montferrand) a donc été retenu pour construire l'indicateur d'exposition.

Concernant l'ozone, les stations Centre-ville, Delille, Gravanches et Montferrand ont des distributions très proches (moyennes comprises entre 84 et 89 µg/m³) et des coefficients de corrélation tous supérieurs à 0,924. Elles ont donc été retenues.

La station Jaude a été écartée car le spectromètre d'absorption optique différentielle (DOAS) était non étalonné sur la période d'étude [Atmo Auvergne].

Parmi les 3 stations mesurant les FN, les stations Centre-ville et Montferrand enregistrent les niveaux les plus proches (moyennes respectivement de 13 et 16 µg/m³).

De plus, les stations Cézeaux et Montferrand ne sont pas corrélées entre elles. La station Cézeaux a donc été exclue.

Les stations Centre-ville et Montferrand ont donc servi à calculer l'indicateur d'exposition.

Pour les PM₁₀, les stations Centre-ville, Delille et Montferrand ont des distributions très proches et des coefficients de corrélation élevés (supérieurs à 0,926). Elles ont donc été sélectionnées toutes les trois.

4.1.1.4. Construction des indicateurs d'exposition

Les indicateurs d'exposition ont été construits en effectuant la moyenne arithmétique des données journalières des capteurs sélectionnés, sauf pour l'O₃ où une moyenne glissante sur 8h a été calculée.

Les capteurs retenus mesurent des niveaux proches de pollution et sont bien corrélés entre eux. Le taux de valeurs manquantes étant faible, les valeurs mesurées et validées par Atmo Auvergne ont pu être utilisées sans transformation préalable.

Les statistiques descriptives de l'indicateur d'exposition et sa distribution par gamme de concentrations sont présentées dans les tableaux 16 et 17.

Tableau 16. Distribution des indicateurs d' exposition [Atmo Auvergne]

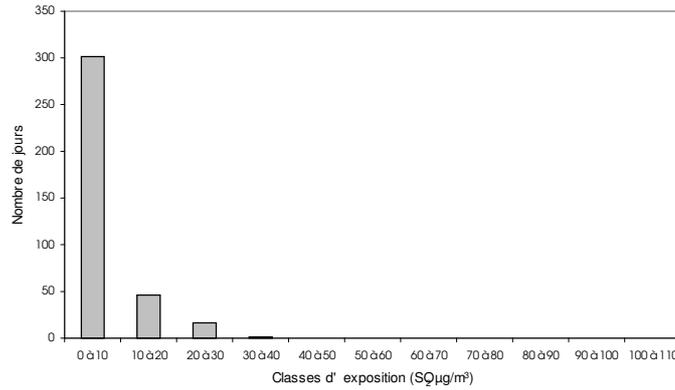
	Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$												
	SO ₂			NO ₂			O ₃	FN			PM ₁₀		
	an	hiver	été	an	hiver	été	été	an	hiver	été	an	hiver	été
Minimum	0	0	1	3	5	3	48	1	2	1	7	7	7
Percentile 5	1	2	1	11	16	10	54	4	4	4	11	10	11
Percentile 25	3	4	2	21	28	17	72	7	7	7	16	16	15
Médiane	4	7	3	29	37	24	84	10	13	10	21	24	20
Percentile 75	7	13	4	39	50	29	96	16	23	13	28	33	25
Percentile 95	19	24	6	62	71	39	120	47	56	18	45	51	33
Maximum	40	40	9	96	96	44	146	97	97	24	93	93	48
Moyenne journalière	6	9	3	32	39	24	85	14	19	10	23	26	21
Ecart-type	6	7	1	16	17	9	20	14	18	5	11	14	7
% valeurs manquantes	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tableau 17. Distribution des indicateurs d' exposition par gamme d' exposition [Atmo Auvergne]

	Nombre de valeurs												
	SO ₂			NO ₂			O ₃	FN			PM ₁₀		
	an	hiver	été	an	hiver	été	été	an	hiver	été	an	hiver	été
[0-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	302	119	183	15	5	10	0	185	80	105	17	12	5
]10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	46	46	0	72	15	57	0	118	47	61	152	62	90
]20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	17	17	0	111	37	74	0	29	22	7	127	57	70
]30-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1	1	0	87	51	35	0	9	9	0	45	31	14
]40-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	36	30	7	0	8	8	0	15	11	4
]50-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	22	22	0	16	10	10	0	6	6	0
]60-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	13	13	0	21	3	3	0	1	1	0
]70-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	6	6	0	34	3	3	0	2	2	0
]80-90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	3	3	0	41	0	0	0	0	0	0
]90-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	1	1	0	35	1	1	0	1	1	0
]100-110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0
]110-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0
]120-130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
]130-140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
]140-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
> 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	366	183	183	366	183	183	183	366	183	183	366	183	183

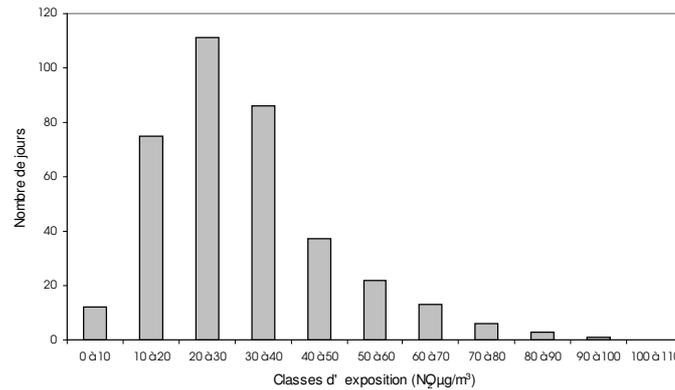
Les figures 1 à 5 représentent les distributions des indicateurs d'exposition par classes. Les indicateurs sont comparés à des niveaux de référence correspondant aux objectifs de qualité figurant dans le décret n°98-360 du 6 mai 1998 et le décret n°2002-213 du 15 février 2002 le modifiant.

Figure 1. Distribution par classes de l'indicateur d'exposition SO₂



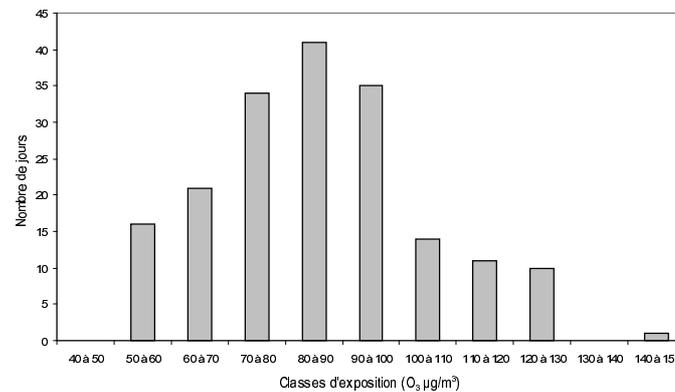
Les niveaux journaliers du SO₂ sont tous inférieurs à l'objectif de qualité (50 µg/m³) et sont trop faibles pour être pris en compte dans les calculs d'impact sanitaire (la moyenne annuelle est égale à 6 µg/m³).

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



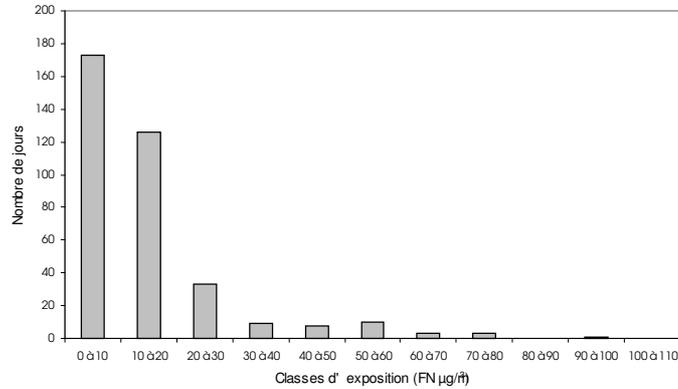
L'objectif de qualité pour le NO₂ (40 µg/m³) est respecté pendant 78 % de l'année (soit 284 jours par an).

Figure 3. Distribution par classes de l'indicateur d'exposition O₃



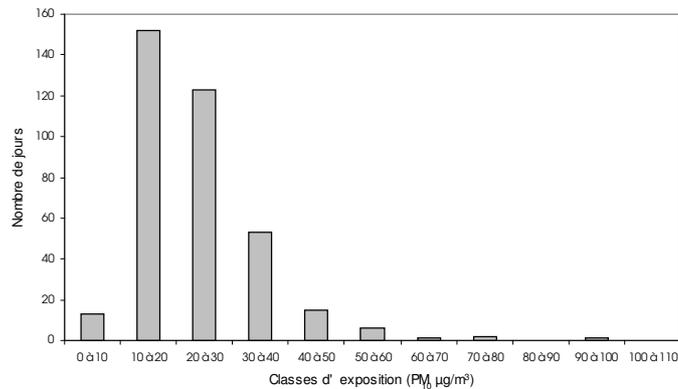
L'objectif de qualité pour l'ozone ($110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne 8h) est respecté pendant 88 % de la période estivale (soit 161 jours sur 183).

Figure 4. Distribution par classes de l'indicateur d'exposition FN



L'objectif de qualité pour les FN ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est respecté pendant 93 % de l'année (soit 341 jours par an).

Figure 5. Distribution par classes de l'indicateur d'exposition PM₁₀



L'objectif de qualité pour les PM₁₀ ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est respecté pendant 79 % de l'année (soit 288 jours par an).

4.2. Caractérisation du risque

4.2.1. Indicateurs sanitaires

4.2.1.1. Mortalité

Le tableau 18 présente les données de mortalité de l'Inserm pour la période d'étude.

Tableau 18. Nombre de décès toutes causes sauf accidentelles, de cause cardio-vasculaire et de cause respiratoire sur la zone d'étude [Inserm]

		Mortalité toutes causes sauf accidentelles			Mortalité cardio-vasculaire			Mortalité respiratoire		
		Hiver	Été	Année	Hiver	Été	Année	Hiver	Été	Année
Tous âges	Année 1999-2000	620	673	1293	194	235	429	39	29	68
	Nombre moyen journalier de décès	3,4	3,7	3,5	1,1	1,3	1,2	0,2	0,2	0,2
	Taux moyen de décès pour 100 000 hab.	352	383	735	110	134	244	22	16	39
Age ≥ 30 ans	Année 1999-2000	609	662	1271	193	234	427	39	29	68
	Nombre moyen journalier de décès	3,3	3,6	3,5	1,1	1,3	1,2	0,2	0,2	0,2
	Taux moyen de décès pour 100 000 hab.	600	652	1253	190	231	421	38	29	67

4.2.1.2. Admissions hospitalières

Le tableau 19 présente les données extraites du PMSI pour la période d'étude.

Tableau 19. Nombre d'admissions hospitalières de plus de 24 heures en provenance du domicile pour pathologies respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques sur la zone d'étude [Drass Auvergne]

Pathologies	Tranches d'âge	Respiratoires		Cardio-vasculaires	Cardiaques	
		15-64 ans	≥ 65 ans	Tous âges	Tous âges	≥ 65 ans
Hiver 1999-2000	Nombre total	322	207	1701	925	626
	Nombre moyen journalier	1,76	1,13	9,30	5,05	3,42
	Taux pour 100 000 hab.	259	749	967	526	2266
Été 2000	Nombre total	304	164	1430	838	559
	Nombre moyen journalier	1,66	0,90	7,81	4,58	3,05
	Taux pour 100 000 hab.	244	594	813	476	2024
Année 1999-2000	Nombre total	626	371	3131	1763	1185
	Nombre moyen journalier	1,71	1,01	8,55	4,82	3,24
	Taux pour 100 000 hab.	503	1343	1780	1002	4290

Remarque : La commune d'Aubière partageant son code postal avec une autre commune hors zone d'étude (Pérignat-les-Sarliève), le nombre d'admissions en provenance de cette commune a été pondéré au prorata du nombre d'habitants.

4.2.2. Estimation de l'impact sanitaire à court terme

4.2.2.1. Impact sanitaire total (scénario 1)

L'impact de la pollution atmosphérique, estimé par rapport à une exposition à un niveau faible de pollution (un niveau « zéro » n'étant pas réaliste), 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 (égal au 10^{ème} percentile de sa distribution) et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 (inférieur au 5^{ème} percentile) et les PM_{10} (inférieur au 5^{ème} percentile) ; pour les FN, le niveau standard de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ était trop élevé et a été remplacé par $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (égal au 5^{ème} percentile). Les nombres de cas attribuables pour chacun des indicateurs sanitaires et indicateurs d'exposition étudiés sont présentés en annexe 3.

Le tableau 20 présente les nombres de cas attribuables à la pollution atmosphérique en considérant les indicateurs d'exposition ayant le plus d'impact (NO_2 pour mortalité anticipée et morbidité cardio-vasculaire, FN et PM_{10} pour morbidité respiratoire et cardiaque).

Tableau 20. 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, dont :	NO_2	28	19-36
Mortalité cardio-vasculaire	NO_2	11	5-17
Mortalité respiratoire	NO_2	2	1-3
Morbidité respiratoire, dont :		8	
Morbidité respiratoire chez les 15-64 ans	FN	4	1-7
Morbidité respiratoire chez les 65 ans et plus	PM_{10}	4	3-6
Morbidité cardiovasculaire en hiver	NO_2 hiver	50	30-70
Morbidité cardiovasculaire en été	NO_2 été	24	14-34
Morbidité cardiaque tous âges, dont :	FN	21	8-34
Morbidité cardiaque chez les 65 ans et plus	FN	16	5-28

L'impact sanitaire annuel de la pollution atmosphérique sur l'agglomération clermontoise se traduit donc par :

- **28 décès anticipés**, dont 11 de cause cardio-vasculaire et 2 de cause respiratoire ;
- **8 admissions hospitalières pour motif respiratoire** (4 chez les 15-64 ans et 4 chez les plus de 65 ans) ;
- **50 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire en hiver et 24 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire en été**⁹.

On distingue parmi ces hospitalisations 21 admissions hospitalières pour motif cardiaque dans la population totale (dont 16 chez les plus de 65 ans).

Ce sont les nombres d'évènements sanitaires qui seraient théoriquement évités si la pollution était quasiment nulle.

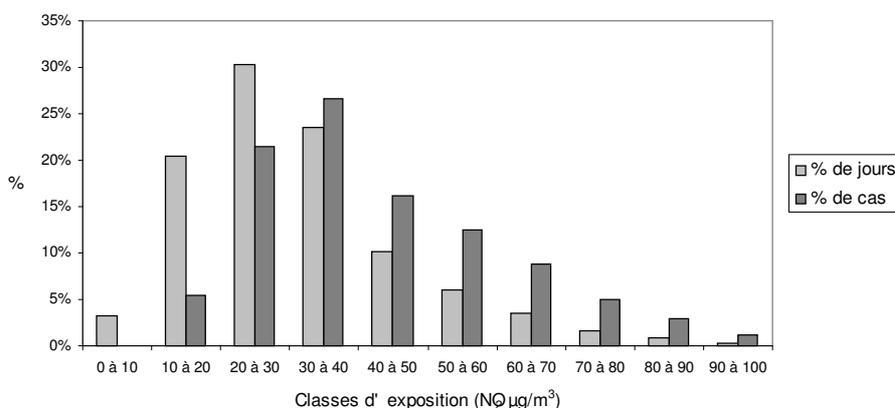
⁹ Les risques relatifs concernant l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur les admissions pour motif cardio-vasculaire sont fournis par saison tropique et actuellement on ne connaît pas le RR pour l'année, ni la relation entre le RR année et les 2 RR obtenus par saisons. De plus, la relation 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.

4.2.2.2. 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.

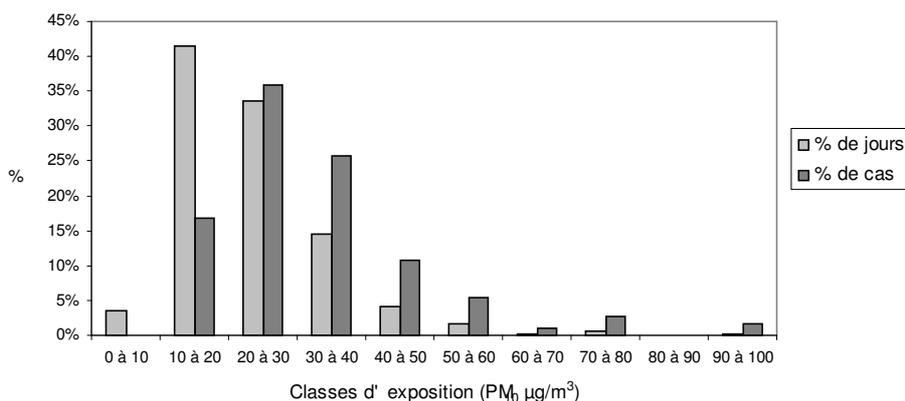
Quels que soient l'indicateur d'exposition et l'indicateur sanitaire observés, si les jours de forte pollution ont un impact sanitaire journalier plus élevé sur la santé, leur faible fréquence limite l'impact sur une année. Ceci est illustré par les figures 6 et 7, qui représentent respectivement l'indicateur NO₂ et la mortalité toutes causes, et l'indicateur PM₁₀ et la morbidité cardiaque chez les plus de 65 ans.

Figure 6. Distribution par classes des niveaux d' exposition journaliers et des impacts associés (mortalité toutes causes)



On constate que les niveaux de NO₂ respectant l'objectif de qualité de 40 µg/m³ (78 % des jours de l'année) sont responsables de 54 % de l'impact sanitaire.

Figure 7. Distribution par classes des niveaux d' exposition journaliers et des impacts associés (morbidité cardiaque chez les plus de 65 ans)



De même, les niveaux de PM₁₀ respectant l'objectif de qualité de 30 µg/m³ (79 % des jours de l'année) sont responsables de 78 % de l'impact sanitaire.

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

Ce scénario revient à réduire les pics de pollution qui dépassent les valeurs réglementaires en vigueur (correspondant aux objectifs de qualité décrits au § 4.1.1.4.).

Tableau 21. 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 :	4	3-6
<i>Mortalité cardio-vasculaire</i>	2	1-3
<i>Mortalité respiratoire</i>	0	0-1
Morbidité respiratoire, dont :	1	
<i>Morbidité respiratoire chez les 15-64 ans</i>	0	0-1
<i>Morbidité respiratoire chez les 65 ans et plus</i>	1	0-1
Morbidité cardiovasculaire en hiver	11	7-16
Morbidité cardiovasculaire en été	0	0-0
Morbidité cardiaque tous âges, dont :	2	1-4
<i>Morbidité cardiaque chez les 65 ans et plus</i>	2	1-3

Une réduction des pics de pollution au niveau de la valeur de référence permettrait d'éviter chaque année 14 % des décès anticipés et 0 à 22 % des hospitalisations.

4.2.2.4. 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 25 % chaque jour de l'année.

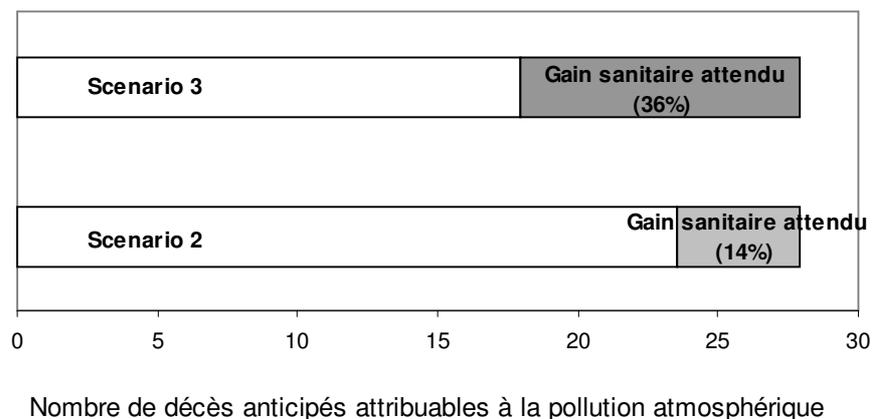
Tableau 22. Gain sanitaire attendu (nombres annuels de cas évitables et leurs intervalles de confiance à 95 %) pour chaque indicateur sanitaire selon le scénario 3

	Nombre de cas évitables	IC 95 %
Mortalité toutes causes sauf accidentelles, dont :	10	7-13
<i>Mortalité cardio-vasculaire</i>	4	2-6
<i>Mortalité respiratoire</i>	1	0-1
Morbidité respiratoire, dont :	3	
<i>Morbidité respiratoire chez les 15-64 ans</i>	1	0-2
<i>Morbidité respiratoire chez les 65 ans et plus</i>	2	1-3
Morbidité cardiovasculaire en hiver	16	10-23
Morbidité cardiovasculaire en été	10	6-14
Morbidité cardiaque tous âges, dont :	7	3-11
<i>Morbidité cardiaque chez les 65 ans et plus</i>	5	2-9

Une réduction de 25 % des niveaux moyens de pollution atmosphérique permettrait d'éviter 36 % des décès anticipés et 32 à 42 % 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 8 en ce qui concerne la mortalité totale anticipée.

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



4.2.2.5. Comparaison du taux de mortalité 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 [InVS 2002].

L'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité anticipée à Clermont-Ferrand a été comparé à celui des 9 villes du Psas-9. Pour pouvoir effectuer cette comparaison, des taux de mortalité spécifiques ont été calculés pour Clermont-Ferrand (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 ne sont pas forcément les mêmes d'une ville à l'autre, d'où les limites de cette comparaison.

Tableau 23. 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 pour Clermont-Ferrand

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
Clermont-Ferrand	15,9	6,3	1,1

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

Clermont-Ferrand présente des taux de mortalité qui restent dans les valeurs basses ou intermédiaires de la fourchette des taux observés dans les 9 villes du programme Psas-9.

4.2.3. Estimation de l'impact sanitaire à long terme

4.2.3.1. Impact sanitaire total

Le tableau 24 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 24. 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	69	42-99

L'impact sanitaire à long terme de la pollution atmosphérique sur l'agglomération clermontoise se traduit donc par 69 décès annuels.

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

Le tableau 25 présente le gain sanitaire attendu pour quatre scénarios de réduction de la pollution atmosphérique.

Tableau 25. 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)	18	11-25
Scénario 3 : diminution de 5 µg/m ³ de la moyenne annuelle	26	16-37
Scénario 4 : diminution des niveaux de 25 %	29	18-41

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 18 décès évitables, soit 26 % 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 26 décès évitables, soit 38 % de gain sanitaire.

Enfin, une diminution de 25 % de la moyenne actuelle (qui permettrait d'atteindre une moyenne annuelle de l'ordre de 17 µg/m³) permettrait un gain sanitaire de 29 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 clermontoise a été menée en suivant la méthodologie proposée par le guide InVS 1999 et de ses recommandations complémentaires provisoires rédigées en 2003. Les quatre 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, erreurs 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 clermontoise 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 observations épidémiologiques à des faibles niveaux d'exposition, ce qui ne nécessite pas d'extrapolation animal/homme ni haute dose/basse dose comme c'est le cas dans les modèles toxicologiques classiques ; par contre elles ont été obtenues à partir d'une zone géographique différente de notre zone d'étude, qui peut être soumise à une pollution atmosphérique et à des facteurs confondants différents.

Cependant, l'utilisation de relations exposition-risque établies par des études européennes (Apeha 2) et françaises (Psas-9) pour estimer l'impact à court terme limite cet inconvénient. En effet, ces études ont montré la cohérence des relations exposition-risque sur la mortalité et les admissions hospitalières 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., basée sur les résultats de deux cohortes américaines.

Or ces populations sont potentiellement différentes de la population étudiée ici en terme de causes de mortalité, d'exposition 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 tel endroit pour tant de personnes), 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 niveaux de pollution atmosphérique, cela conduit à surestimer ou sous-estimer l'impact sanitaire. 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 à 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.

5.1.4. 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.

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, elles ont été dénombrées à partir des données PMSI de la Drass d'Auvergne donc les admissions dans les établissements de santé qui ne participent pas au PMSI n'ont pas été prises en compte, ce qui conduit à sous-estimer l'impact sanitaire. La non prise en compte des urgences dans le PMSI conduit également à sous-estimer le nombre d'événements sanitaires et donc l'impact sanitaire en terme de morbidité.

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 clermontoise (258 541 habitants), évalué par rapport à une situation théorique sans pollution, a été estimé, en moyenne, à 28 décès anticipés, 8 hospitalisations pour motif respiratoire, 50 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire en été et 24 en hiver. Le gain sanitaire d'une diminution de 25 % des niveaux moyens de pollution a été estimé à 36 % des décès anticipés et jusqu'à 42 % des hospitalisations.

Sur le long terme, le même scénario conduirait à un gain sanitaire annuel de 42 % des décès.

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, la suppression des pics de pollution dépassant les 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 42 % 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. 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

La principale source d'incertitude lors de la réalisation d'une EIS provient de l'estimation des expositions, au moyen du réseau de mesure des immissions urbaines. Des travaux pourraient être réalisés afin de compléter les connaissances sur la distribution géographique de ces immissions 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 de 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 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.

Enfin, en fonction de l'évolution de la disponibilité des données de surveillance de la qualité de l'air et des indicateurs sanitaires, la réalisation d'une EIS dans les autres agglomérations de la région Auvergne permettrait d'enrichir le débat public sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique.

7. Références bibliographiques

Atmo Auvergne (Association pour la mesure de la pollution atmosphérique de l'Auvergne). Rapport d'activité 2001.

Atmo Auvergne. Site Internet. <http://www.atmoauvergne.asso.fr/publications/20040116%20-%20EIQA%20BSO.pdf>

Brunekreef B, Holgate ST. Air pollution and health. *Lancet* 2002, 360:1233-1242.

Décret n°98-360 du 6 mai 1998 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

Décret n°2002-213 du 15 février 2002 portant transposition des directives 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 et 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 et modifiant le décret n° 98-360 du 6 mai 1998 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

Extrapol n° XIX. Effets d'une exposition chronique à la pollution atmosphérique. *Pollution atmosphérique* n° 164, octobre-décembre 1999.

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 Auvergne. Citepa octobre 1997.

Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S et al. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 2002, 360(9341):1203-1209.

Insee (Institut national de la statistique et des études économiques). Recensement de la population de 1999.

Institut de Veille Sanitaire. Surveillance épidémiologique Air & Santé. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. *Institut de Veille Sanitaire. Saint-Maurice, mars 1999. 148 pages.*

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.*

Institut de Veille Sanitaire. Programme de surveillance Air et Santé – 9 villes. Rapport phase II. *Institut de Veille Sanitaire. Juin 2002. 181 pages.*

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.*

Institut universitaire d'hygiène et de santé publique de Grenoble. Évaluation 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. 30 pages et annexes.*

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.

Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. *Journal Officiel de la République Française, 1er janvier 1997.*

Meteo France. Site Internet. http://www.meteofrance.com/FR/climat/dpt_tempsdumois.jsp?LIEUID=DEPT63

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.

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.

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.

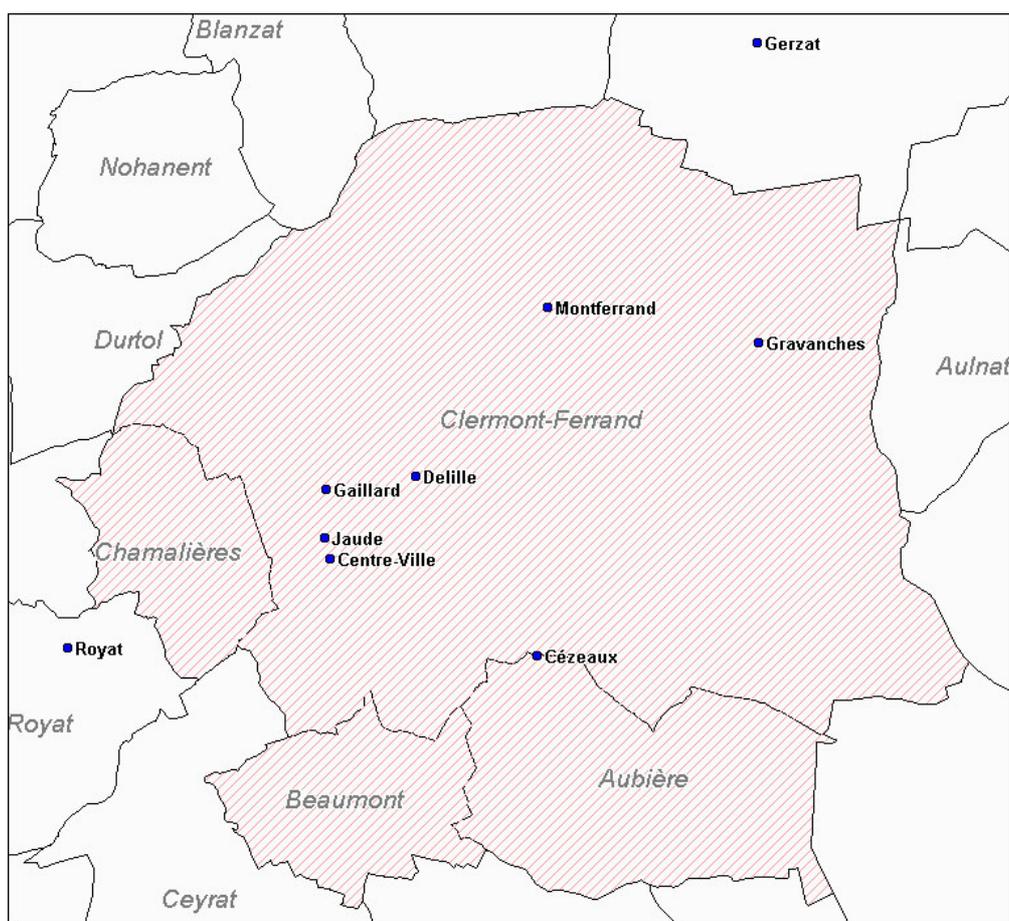
Préfecture de la région Auvergne - Drire (Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement) Auvergne. Projet de Plan Régional pour la Qualité de l'Air Auvergne. Juillet 1999.

Réseau National de Santé Publique. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique : une démarche d'analyse de risque pour les plans régionaux de la qualité de l'air. RNSP, Saint-Maurice, France, juin 1998. 16 pages.

World Health Organization. Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution. An impact assessment project of Austria, France and Switzerland. World Health Organization, Regional Office for Europe, June 1999.

Xhillari D. Health impact assessment of air pollution in the WHO European Region. A standardised approach. *Pollution atmosphérique* 2000, 168:561-565.

Annexe 1 : Zone d'étude et emplacement des stations de mesure de la qualité de l'air



Annexe 2 : Distribution des immissions polluantes urbaines

Distribution des concentrations en SO₂ par station (µg/m³)

Station	Centre-ville	Cézeaux	Jaude	Gravanches	Montferrand	Gaillard
Période totale	Minimum	0	0	0	0	0
	Percentile 5	0	0	1	1	0
	Percentile 25	1	2	2	1	3
	Médiane	3	4	4	2	4
	Percentile 75	5	8	8	4	8
	Percentile 95	21	18	26	9	17
	Maximum	49	38	45	28	28
	Moyenne	5	6	7	3	6
	Ecart-type	7	6	8	3	5
% valeurs manquantes	1 %	0 %	11 %	0 %	3 %	2 %
Hiver	Minimum	0	0	0	0	0
	Percentile 5	0	1	2	1	0
	Percentile 25	2	4	4	2	4
	Médiane	5	7	8	3	8
	Percentile 75	12	13	14	5	12
	Percentile 95	27	21	31	9	21
	Maximum	49	38	45	17	28
	Moyenne	8	9	11	4	9
	Ecart-type	9	7	9	3	6
% valeurs manquantes	0 %	0 %	11 %	0 %	6 %	2 %
Eté	Minimum	0	0	1	0	0
	Percentile 5	0	0	1	0	1
	Percentile 25	1	1	2	1	2
	Médiane	2	2	3	2	3
	Percentile 75	3	5	4	3	5
	Percentile 95	5	9	6	7	7
	Maximum	11	15	7	28	11
	Moyenne	2	3	3	3	4
	Ecart-type	2	3	1	3	2
% valeurs manquantes	1 %	0 %	10 %	1 %	1 %	2 %

Coefficients de corrélation entre stations pour le SO₂

Station	Centre-ville	Cézeaux	Jaude	Gravanches	Montferrand
Centre-ville	1,000	0,770	0,914	0,155	0,766
Cézeaux		1,000	0,821	0,171	0,725
Jaude			1,000	0,186	0,801
Gravanches				1,000	0,216
Montferrand					1,000

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

	Station	Centre-ville	Cézeaux	Delille	Jaude	Gravanches	Montferrand	Gaillard
Période totale	Minimum	5	1	2	3	1	5	11
	Percentile 5	12	10	10	13	6	10	28
	Percentile 25	23	20	20	25	16	20	44
	Médiane	30	28	29	34	24	28	55
	Percentile 75	41	37	43	45	33	40	69
	Percentile 95	65	54	71	73	50	65	93
	Maximum	115	89	115	124	69	96	125
	Moyenne	34	30	33	37	25	31	57
	Ecart-type	17	14	19	18	13	17	19
% valeurs manquantes	1 %	0 %	0 %	11 %	0 %	1 %	1 %	
Hiver	Minimum	7	1	8	9	2	7	11
	Percentile 5	17	12	16	16	7	15	30
	Percentile 25	29	25	28	32	21	28	47
	Médiane	39	33	40	43	30	40	63
	Percentile 75	53	47	55	59	40	52	76
	Percentile 95	74	59	81	83	55	79	97
	Maximum	115	89	115	124	69	96	125
	Moyenne	42	35	43	46	31	41	63
	Ecart-type	19	16	21	21	14	19	22
% valeurs manquantes	0 %	0 %	1 %	11 %	0 %	3 %	0 %	
Eté	Minimum	5	4	2	3	1	5	17
	Percentile 5	11	10	8,1	11,2	6	9	26
	Percentile 25	19	16	16	22	14	16	42
	Médiane	25	25	23	28	20	22	51
	Percentile 75	31	31	30	35	26	28	61
	Percentile 95	42	40	43	47	34	37	72
	Maximum	51	51	59	54	40	49	87
	Moyenne	25	24	24	29	20	22	51
	Ecart-type	9	10	10	10	9	9	14
% valeurs manquantes	1 %	1 %	0 %	10 %	0 %	0 %	2 %	

Coefficient de corrélation entre stations pour le NO₂

Station	Centre-ville	Cézeaux	Delille	Jaude	Gravanches	Montferrand
Centre-ville	1,000	0,927	0,963	0,892	0,882	0,926
Cézeaux		1,000	0,904	0,852	0,900	0,907
Delille			1,000	0,888	0,885	0,950
Jaude				1,000	0,793	0,862
Gravanches					1,000	0,909
Montferrand						1,000

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

	Station	Centre-ville	Delille	Jaude	Gravanches	Montferrand
Eté	Minimum	40	48	46	43	49
	Percentile 5	57	54	52	57	59
	Percentile 25	71	72	66	74	76
	Médiane	84	84	75	86	87
	Percentile 75	95	96	84	98	100
	Percentile 95	117	120	103	118	125
	Maximum	136	146	114	144	149
	Moyenne	84	85	76	87	89
	Ecart-type	18	20	15	18	19
	% valeurs manquantes	3 %	0 %	9 %	0 %	0 %

Coefficient de corrélation entre stations pour l'O₃

Station	Centre-ville	Delille	Jaude	Gravanches	Montferrand
Centre-ville	1,000	0,959	0,974	0,924	0,942
Delille		1,000	0,988	0,941	0,977
Jaude			1,000	0,974	0,988
Gravanches				1,000	0,958
Montferrand					1,000

Distribution des concentrations en FN par station ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Station	Centre-ville	Cézeaux	Montferrand	Gaillard
Période totale	Minimum	2	1	0	8
	Percentile 5	3	4	3	44
	Percentile 25	6	6	7	32
	Médiane	9	8	11	44
	Percentile 75	15	12	17	57
	Percentile 95	41	26	62	82
	Maximum	92	47	113	131
	Moyenne	13	10	16	46
	Ecart-type	12	7	18	19
% valeurs manquantes	5 %	0 %	3 %	1 %	
Hiver	Minimum	2	1	0	11
	Percentile 5	3	3	3	6
	Percentile 25	6	6	6	30
	Médiane	11	8	12	40
	Percentile 75	22	15	27	52
	Percentile 95	50	29	77	64
	Maximum	92	47	113	80
	Moyenne	16	12	22	41
	Ecart-type	16	9	23	15
% valeurs manquantes	0 %	0 %	5 %	1 %	
Eté	Minimum	2	1	1	8
	Percentile 5	3	4	4	16
	Percentile 25	6	5	7	34
	Médiane	8	8	10	49
	Percentile 75	11	10	14	65
	Percentile 95	20	17	21	91
	Maximum	23	21	26	131
	Moyenne	9	9	11	51
	Ecart-type	5	4	5	22
% valeurs manquantes	11 %	0 %	1 %	1 %	

Coefficient de corrélation entre stations pour les FN

Station	Centre-ville	Cézeaux	Montferrand
Centre-ville	1,000	0,691	0,699
Cézeaux		1,000	0,567
Montferrand			1,000

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

	Station	Centre-ville	Delille	Montferrand
Période totale	Minimum	5	7	6
	Percentile 5	9	10	11
	Percentile 25	15	16	15
	Médiane	21	22	21
	Percentile 75	28	28	28
	Percentile 95	42	44	47
	Maximum	98	93	88
	Moyenne	23	24	24
	Ecart-type	11	11	12
	% valeurs manquantes	1 %	1 %	7 %
Hiver	Minimum	5	7	6
	Percentile 5	9	10	10
	Percentile 25	15	17	16
	Médiane	23	25	23
	Percentile 75	32	35	31
	Percentile 95	48	52	57
	Maximum	98	93	88
	Moyenne	25	27	26
	Ecart-type	13	14	15
	% valeurs manquantes	2 %	0 %	4 %
Été	Minimum	6	8	6
	Percentile 5	10	11	11
	Percentile 25	15	16	15
	Médiane	19	20	20
	Percentile 75	24	25	26
	Percentile 95	33	32	33
	Maximum	47	46	50
	Moyenne	20	21	21
	Ecart-type	7	7	7
	% valeurs manquantes	1 %	1 %	10 %

Coefficient de corrélation entre stations pour les PM₁₀

Station	Centre-ville	Delille	Montferrand
Centre-ville	1,000	0,958	0,926
Delille		1,000	0,939
Montferrand			1,000

Annexe 3 : 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	NO₂	28	19-36
	O ₃ été	10	4-14
	FN	11	8-14
	PM ₁₀	10	7-14
Mortalité cardio-vasculaire	NO₂	11	5-17
	O ₃ été	5	2-9
	FN	2	0-5
Mortalité respiratoire	NO₂	2	1-3
	O ₃ été	1	0-1
	FN	1	0-1
Morbidité respiratoire chez les 15-64 ans	NO ₂	3*	-4-10
	O ₃ été	3*	-1-6
	FN	4	1-7
Morbidité respiratoire chez les 65 ans et plus	NO ₂	3*	-3-10
	O ₃ été	3	1-5
	FN	0*	-3-4
	PM₁₀	4	3-6
Morbidité cardiovasculaire	NO ₂ été	24	14-34
	NO₂ hiver	50	30-70
Morbidité cardiaque tous âges	FN	21	8-34
	PM ₁₀	12	5-19
Morbidité cardiaque chez les 65 ans et plus	FN	16	5-28
	PM ₁₀	11	6-16

* résultat non significatif