

Santé environnement

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Clermont-Ferrand, 2007 - 2009

Impact à court et long termes

Sommaire

| | |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| Abréviations | 2 |
| Glossaire | 3 |
| 1. Contexte et objectifs | 4 |
| 2. Matériels et méthodes | 7 |
| 2.1 Choix de la zone d'étude | 7 |
| 2.2 Choix de la période d'étude | 7 |
| 2.3 Estimation de l'exposition | 8 |
| 2.4 Indicateurs sanitaires | 10 |
| 2.5 Choix des relations exposition-risque | 11 |
| 2.6 Caractérisation du risque | 12 |
| 3. Résultats | 16 |
| 3.1 Caractérisation de la zone et de la période d'étude | 16 |
| 3.2 Indicateurs d'exposition | 24 |
| 3.3 Indicateurs sanitaires | 28 |
| 3.4 Impact à court terme des PM ₁₀ | 29 |
| 3.5 Impact à court terme de l'ozone | 29 |
| 3.6 Impact à long terme des PM _{2,5} | 30 |
| 4. Discussion | 31 |
| 4.1 Hypothèses, limites et incertitudes de l'EIS | 31 |
| 4.2 Interprétation des résultats | 34 |
| 5. Conclusions | 36 |
| 6. Recommandations | 36 |
| Références bibliographiques | 37 |
| Annexes | 39 |

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Clermont-Ferrand, 2007 - 2009

Impact à court et long termes

Rédaction

Erica Fougère, Cire Auvergne, Clermont-Ferrand
Nicolas Vincent, Cire Auvergne, Clermont-Ferrand
Emmanuelle Vaissière, Cire Auvergne, Clermont-Ferrand
Damien Mouly, Cire Auvergne, Clermont-Ferrand

Relecture et validation scientifique

Mathilde Pascal, Institut de veille sanitaire, Département santé environnement, Saint Maurice

Ont participé à cette étude

Association de surveillance de la qualité de l'air en Auvergne « Atmo Auvergne »

Serge Pellier, directeur
Justine Gourdeau, ingénieur d'études
Lionel Rosset, ingénieur études et modélisation

Agence régionale de santé (ARS) Auvergne

Alain Blineau, ingénieur du génie sanitaire, ARS Auvergne
Valérie Parron, ingénieur d'études sanitaires, ARS Auvergne
Gilles Bidet, ingénieur du génie sanitaire, délégation territoriale du Puy-de-Dôme
Jean Paul Pascal, technicien sanitaire, délégation territoriale du Puy-de-Dôme

Clermont Communauté

Henri Moreigne, mission développement durable

Conseil régional d'Auvergne

Nathalie Santacatterina, chargée de mission Énergie-Climat

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Dreal)

Guillaume Astaix, ingénieur Énergie-Climat

Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) Auvergne

Dominique Dessaigne, service études et diffusion

Météo-France

Nathalie Jolibert, technicien supérieur en météorologie

Abréviations

Aasqa : Association agréée de surveillance de la qualité de l'air

Aphekom : Improving knowledge and communication for decision making on air pollution and health in Europe

ARS : Agence régionale de santé

As : Arsenic

Cd : Cadmium

CépiDc : Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès

CIM-10 : Classification internationale des maladies, version 10

Citepa : Centre interprofessionnel d'étude de la pollution atmosphérique

CO : Monoxyde de carbone

COV : Composé organique volatil

CP : Code postal

DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

EIS : Evaluation d'impact sanitaire

EIS-PA : Evaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique

E-R : Exposition-risque

FDMS : Filter Dynamics Measurement System

FN : Fumées noires

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

Laure : Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (30 décembre 1996)

NA : Nombre de cas attribuables

Ni : Nickel

NO : Monoxyde d'azote

NO₂ : Dioxyde d'azote

NO_x : Oxydes d'azote

O₃ : Ozone

OMS : Organisation mondiale de la santé

PA : Pollution atmosphérique

Pb : Plomb

PM_{2,5} : Particule d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm

PM₁₀ : Particule d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm

PMSI : Programme de médicalisation des systèmes d'information

PPA : Plan de protection de l'atmosphère

PRQA : Plan régional pour la qualité de l'air

Psas : Programme de surveillance air et santé

RR : Risque relatif

SO₂ : Dioxyde de soufre

SRCAE : Schéma régional climat, air, énergie

TEOM : Tapered Element Oscillating Microbalance

UV : Ultraviolet

Glossaire

Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique : démarche qui consiste à quantifier l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé (par exemple le nombre de cas « attribuables ») à partir de relations exposition-risque (E-R) issues d'études épidémiologiques, lorsque la nature causale de la relation mise en évidence peut être raisonnablement acceptée.

Exposition : contact entre la pollution atmosphérique urbaine et la population d'étude, essentiellement par voie d'inhalation.

Gain sanitaire : nombre d'événements sanitaires indésirables potentiellement évitables par une réduction de l'exposition à la pollution atmosphérique.

Impact sanitaire : nombre d'événements sanitaires indésirables attribuables à une exposition ou à un accroissement de l'exposition à la pollution atmosphérique urbaine.

Impact sanitaire à court terme : impact sanitaire qui se manifeste rapidement (le jour même ou en quelques jours) après l'exposition.

Impact sanitaire à long terme : impact sanitaire qui se manifeste plusieurs années après la survenue de l'exposition et donc attribuable à une exposition chronique.

Indicateur d'exposition : variable dont la grandeur est fonction de l'intensité de l'exposition à la pollution atmosphérique.

Indicateur sanitaire : variable correspondant à un nombre d'événements sanitaires indésirables survenus dans la population. Par exemple, l'indicateur sanitaire « mortalité totale » fournit le nombre de décès toutes causes dans la population d'étude.

Intervalle de confiance : intervalle autour de l'estimation ponctuelle d'un paramètre construit au moyen de méthodes statistiques afin de contenir la « vraie » valeur du paramètre avec une probabilité de 0,95.

Morbidité : nombre de personnes souffrant d'une maladie au sein d'une population pendant une période déterminée. Dans cette étude, les indicateurs de morbidité sont les nombres d'admissions hospitalières pour causes respiratoire et cardiaque.

Mortalité : nombre de décès au sein d'une population pendant une période déterminée. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à la mortalité non-accidentelle, totale et par causes cardiovasculaires.

Ozone : polluant secondaire résultant de la transformation photochimique de certains polluants primaires dans l'atmosphère sous l'effet des rayonnements ultraviolets qui peut provoquer une altération des voies respiratoires les plus fines et des irritations oculaires.

Particules PM_{2,5} et PM₁₀ : polluants particulaires de tailles très variables (diamètre inférieur à 2,5 µm pour les PM_{2,5} et inférieur à 10 µm pour les PM₁₀).

Relation exposition-risque (E-R) : fonction, issue d'une étude épidémiologique, qui relie un indicateur sanitaire à un indicateur d'exposition.

Risque relatif (RR) : rapport du risque encouru par une population exposée à un niveau donné de pollution par rapport au risque de cette même population si elle était exposée différemment.

1. Contexte et objectifs

La pollution atmosphérique (PA) est un mélange complexe de composés émis par différentes sources de pollution (polluants primaires) et formés secondairement lors de réactions chimiques ayant eu lieu dans l'atmosphère (polluants secondaires).

Grâce aux études épidémiologiques réalisées au cours des dernières décennies, les liens entre l'exposition à la PA et ses effets sur la santé sont désormais bien établis et quantifiés [1-4].

Parmi les effets sanitaires de la PA, on distingue les effets d'une **exposition à court terme** et ceux liés à une **exposition à long terme**.

Les effets à court terme sont des « manifestations » cliniques, fonctionnelles ou biologiques aiguës survenant dans des délais brefs (quelques jours, semaines) après l'exposition à la pollution atmosphérique [5,6]. Des études multicentriques ont montré un lien entre :

- les niveaux de pollution couramment observés et la mortalité toutes causes confondues non accidentelles (risque relatif (RR) pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour les PM_{10} : 1,006 [1,004 – 1,008] et pour l' O_3 : 1,003 [1,002 – 1,005]) [2,7] ;
- les niveaux d'ozone et les admissions hospitalières pour causes respiratoires chez les 15-64 ans (RR pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour l' O_3 : 1,001 [0,991 – 1,012]) et chez les personnes âgées de 65 ans et plus (RR pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour l' O_3 : 1,005 [0,998 – 1,012]) [2] ;
- les niveaux de particules de diamètre inférieur à $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) et les admissions hospitalières pour causes cardiaques (RR pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour les PM_{10} : 1,006 [1,003 – 1,009]) et respiratoires tous âges confondus (RR pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour les PM_{10} : 1,011 [1,004 – 1,008]) [8].

Concernant les effets d'une exposition à long terme, il s'agit de la responsabilité de l'exposition à la pollution atmosphérique dans le développement de processus pathogènes au long cours qui peuvent conduire au final à un événement morbide ou même au décès [3,9].

Pour les effets à long terme, les études internationales ont montré un lien entre les niveaux de particules fines ($\text{PM}_{2,5}$) et la mortalité totale (RR pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour les $\text{PM}_{2,5}$: 1,06 [1,02 – 1,11]) et cardiovasculaire (RR pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour les $\text{PM}_{2,5}$: 1,12 [1,08 – 1,15]) [10,11].

Par ailleurs, il existe des facteurs de risques qui rendent certaines populations plus sensibles que d'autres :

- les enfants dont les poumons ne sont pas complètement formés (la fin de la croissance de l'appareil pulmonaire se produit vers 10-12 ans) ;
- les personnes âgées, qui sont plus sensibles en raison du vieillissement des tissus respiratoires et de pathologies plus fréquemment associées, ainsi que d'une diminution des défenses respiratoires ;
- les personnes souffrant de pathologies chroniques (par exemple : maladies respiratoires chroniques ou maladies cardiovasculaires), les diabétiques.

En raison de l'augmentation de la ventilation lors de l'activité physique, les personnes pratiquant une activité sportive seront soumises à une exposition plus importante.

Ainsi, l'impact de la PA sur la santé humaine est difficile à appréhender du fait que :

- la pollution de l'air est un mélange complexe composé d'un grand nombre de polluants qui peuvent réagir entre eux pour former des polluants secondaires ;
- l'exposition à la pollution de l'air est hétérogène dans le temps et dans l'espace et dépend notamment des lieux fréquentés par l'individu et de ses activités ;
- les risques individuels sont faibles mais à l'échelle de la population toute entière, les impacts ne sont pas négligeables car toute la population est exposée ;
- l'état de santé et les antécédents pathologiques, qui vont modifier la sensibilité vis-à-vis de la pollution atmosphérique, sont différents pour chaque individu ;
- les maladies susceptibles d'être liées à la pollution atmosphérique sont multifactorielles, c'est-à-dire que la pollution atmosphérique n'est qu'un des facteurs parmi d'autres qui contribuent à leur apparition.

En France, la gestion de la qualité de l'air est régie par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, dite Laure, du 30 décembre 1996 qui 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 prévoyait notamment la mise en place de Plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA), relevant initialement de la responsabilité des préfets de région puis pris en charge par les présidents des conseils régionaux. Les PRQA fixaient les orientations permettant de prévenir ou de réduire la pollution atmosphérique ou d'en atténuer les effets. Ils devaient s'appuyer, entre autres, sur un inventaire des émissions et une quantification des effets de la qualité de l'air sur la santé, quantification pouvant être obtenue grâce à une démarche d'Évaluation d'impact sanitaire (EIS).

Aujourd'hui, les PRQA sont intégrés dans les Schémas régionaux climat, air, énergie (SRCAE), dont la création était prévue par la loi Grenelle II ou loi ENE (loi n°2010-788) promulguée le 12 juillet 2010. Le SRCAE est élaboré conjointement par l'Etat et le Conseil régional et vise à répondre à trois enjeux majeurs pour notre société (changement climatique, énergie et qualité de l'air). Il est arrêté par le préfet de région et le président du Conseil régional [12].

En Auvergne, ce schéma fixe des orientations pour améliorer la situation dans les quelques territoires où les conditions en terme de qualité de l'air sont moins satisfaisantes. On retrouve dans ce SRCAE, le Plan de protection de l'atmosphère (PPA) de l'agglomération clermontoise, approuvé en 2008, obligatoire dans les agglomérations de plus de 250 000 habitants. Son but est de ramener à l'intérieur de la zone la concentration en polluants dans l'atmosphère à un niveau inférieur aux valeurs limites réglementaires en définissant les mesures préventives. Il s'agit d'un complément indispensable au dispositif de surveillance de la qualité de l'air déjà en place avec les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa), association Atmo Auvergne nous concernant. Cette dernière a pour mission d'informer le public au niveau local sur la qualité de l'air. Au quotidien, ces mesures sont diffusées, entre autres, à travers l'indice Atmo pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants.

L'EIS présentée dans ce rapport, a été réalisée afin de tenir compte d'éléments méthodologiques nouveaux (changement de la technique de mesure des PM, impact sanitaire à long terme exprimé en années de vie perdues) proposés dans le guide de l'InVS [1], paru en 2012. La problématique de la pollution de l'air extérieur sur l'agglomération clermontoise étant assurément connue, cette nouvelle EIS permet donc de revoir la précédente réalisée en 2005 [13] avec cependant une approche méthodologique différente ne donnant pas lieu à une comparaison entre les deux études.

Cette étude est un outil d'aide à la décision, destinée aux acteurs locaux et régionaux, pour orienter les politiques d'amélioration de la qualité de l'air et permettre une meilleure prise de conscience des effets de la pollution sur la santé.

Ce rapport présente la méthode et les résultats de l'EIS-PA pour l'agglomération de Clermont-Ferrand, conduite par la Cire Auvergne selon la méthodologie formalisée par l'InVS [1].

Les objectifs de l'étude étaient les suivants :

- estimer l'impact sanitaire de la PA urbaine à court et long termes associé à différents scénarios d'amélioration de la qualité de l'air ;
- comparer les différentes stratégies en termes de bénéfices sanitaires (nombre de décès et d'hospitalisations évités ; gain en espérance de vie) ;
- aider à la détermination des objectifs d'amélioration de la qualité de l'air localement.

2. Matériels et méthodes

La réalisation pratique d'une EIS-PA en milieu urbain formalisée par l'InVS [1], comprend les 6 étapes suivantes :

- choix de la zone d'étude ;
- choix de la période d'étude ;
- choix des indicateurs d'exposition, collecte et traitement des données environnementales, évaluation de l'exposition à la pollution atmosphérique ;
- choix des indicateurs sanitaires, collecte et traitement des données sanitaires ;
- choix de la relation exposition-risque (E-R) ;
- caractérisation du risque sanitaire (calcul du nombre de cas).

2.1. Choix de la zone d'étude

Le choix de la zone d'étude constitue l'étape la plus délicate et la plus importante dans la réalisation de l'EIS-PA. Elle doit être construite de telle sorte que l'exposition de la population à la pollution urbaine puisse y être considérée comme homogène. Cela implique que la zone d'étude définie réponde aux critères suivants :

- démographiques : taille de la population suffisante (>100 000 habitants), majorité de la population active de la zone d'étude qui y vit et y travaille en permanence (navettes domicile-travail, attractivité hospitalière) ;
- géographiques : continuité urbaine (homogénéité dans la densité urbaine et donc absence de rupture d'urbanisation dans la zone d'étude), absence de relief particulier pouvant influencer la dispersion et la concentration des polluants sur cette zone ;
- de qualité de l'air : absence de sources fixes de pollution majeures pouvant impacter la qualité de l'air de certaines communes dans la zone, représentativité des stations de mesures (nombre de capteurs bien placés, qualité des mesures, disponibilité des données) afin de vérifier l'homogénéité de l'exposition de la population à la PA ;
- météorologiques : direction des vents pouvant influencer la dispersion du polluant sur la zone.

La zone d'étude doit être constituée d'une ou plusieurs communes dans leur intégralité car :

- elle doit être compatible avec la zone qui concerne l'extraction des données sanitaires (mortalité ou admissions hospitalières) ;
- elle doit tenir compte d'éventuelles considérations administratives et politiques (par exemple, englober l'ensemble d'une communauté de communes).

2.2. Choix de la période d'étude

Le choix de la période d'étude est établi en fonction de la disponibilité des données de pollution et des données sanitaires. La période doit être de préférence commune aux deux séries de données. Elle ne doit pas comporter d'événements climatiques ou sanitaires exceptionnels (exemple : canicule de 2003) et doit être peu différente des années précédentes sur le plan météorologique. Les années civiles sont privilégiées.

2.3. Estimation de l'exposition

Cette étape consiste à quantifier l'exposition de la population de la zone d'étude à la PA à partir de l'analyse des mesures de polluants réalisées par l'Association agréée de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa), Atmo Auvergne pour cette étude.

2.3.1. Choix des polluants analysés

Le choix des polluants analysés est guidé par la disponibilité des mesures réalisées en routine par Atmo Auvergne et par la disponibilité de relations E-R présentées dans la littérature. Les connaissances épidémiologiques indiquent une relation causale entre mortalité, morbidité, particules (PM_{2,5} et PM₁₀) et O₃. Ce sont donc les polluants à prendre en compte dans les EIS [1].

Concernant le NO₂, même si de nombreuses études épidémiologiques montrent un lien entre les niveaux de NO₂ et les effets sur la santé (problèmes respiratoires notamment), il reste difficile d'attribuer la part de ce qui revient intégralement à ce polluant et aux polluants liés au trafic routier comme par exemple les particules. Ce polluant n'a par conséquent pas été retenu pour cette étude. Néanmoins, comme les niveaux de NO₂ sont en train d'augmenter en Europe, en raison d'une tendance à la hausse liée aux émissions primaires (trafic automobile) de ce polluant, le choix du NO₂ dans les EIS devrait être examiné davantage dans les travaux futurs [14]. Etant de plus, précurseur dans la formation de l'ozone, ce polluant reste un indicateur important dans la surveillance de la qualité de l'air.

2.3.2. Sélection des stations de mesures

Les stations sélectionnées sont de type urbaines ou périurbaines. Les indicateurs d'exposition aux PM sont construits à partir des données de stations urbaines. L'indicateur d'exposition à l'O₃ est construit à partir des données de stations urbaines et périurbaines. Les distributions des niveaux journaliers (moyenne des 24 heures pour les PM ou maximum des moyennes glissantes sur 8 heures pour l'O₃) enregistrées par les stations ont été comparées entre elles pour leur période commune de fonctionnement et les coefficients de corrélation linéaire entre les différentes séries ont été calculés.

Les stations éligibles doivent répondre aux critères suivants [1] :

- un chevauchement de l'étendue des interquartiles (c'est-à-dire que le 25^e percentile de la distribution des niveaux journaliers mesurés par une station doit être inférieur au 75^e percentile de la distribution des niveaux journaliers mesurés par une autre) ;
- une différence entre les moyennes inférieure à 15 µg/m³, quel que soit le polluant ;
- un coefficient de corrélation supérieur ou égal à 0,6 entre les séries des niveaux journaliers mesurés par 2 stations différentes.

Les stations urbaines et périurbaines respectant la règle des 75 % pour la validation des données journalières (c'est-à-dire, 75 % des valeurs horaires présentes pour une journée sinon la mesure journalière est considérée comme manquante) ont été retenues.

2.3.3. Construction des indicateurs d'exposition

2.3.3.1. Indicateurs d'expositions aux $PM_{2,5}$ et aux PM_{10}

En France, les particules ($PM_{2,5}$ et PM_{10}) sont majoritairement mesurées avec des analyseurs automatiques TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance)¹, qui entraînent une évaporation de la fraction volatile des particules lors du chauffage de l'échantillon, et par conséquent une sous-évaluation de la masse des particules par rapport à la méthode de référence gravimétrique utilisée dans les études épidémiologiques dont sont issues les relations E-R. Une correction est donc nécessaire.

Depuis le 1^{er} janvier 2007, les Aasqa doivent fournir des mesures de $PM_{2,5}$ et PM_{10} corrigées pour être en accord avec la méthode de référence. Chaque Aasqa dispose ainsi, depuis cette date, d'une ou plusieurs stations de mesure des PM_{10} équipées en parallèle de deux analyseurs TEOM, l'un équipé d'un module FDMS (Filter Dynamics Measurement System)¹ qui permet de prendre en compte la fraction volatile des particules, et l'autre pas. A partir de ces mesures, le réseau de surveillance de la qualité de l'air calcule un facteur de correction local qui est appliqué en continu aux autres capteurs de $PM_{2,5}$ et PM_{10} gérés par l'Aasqa, par zone de surveillance [1]. Le temps que la totalité des stations de l'agglomération clermontoise s'équipent du nouveau dispositif, la station de Montferrand a servi de référence.

Les indicateurs d'exposition aux PM correspondaient aux moyennes annuelles des concentrations journalières mesurées par les stations sélectionnées.

2.3.3.2. Indicateurs d'exposition à l' O_3

L'indicateur d'exposition à l' O_3 correspondait à la moyenne journalière des maxima des moyennes glissantes sur 8 heures construites à partir des valeurs horaires mesurées par les stations sélectionnées. Les maxima des moyennes glissantes sur 8 heures ont été directement fournis par Atmo Auvergne.

2.3.3.3. Traitement des données

Le remplacement des valeurs manquantes et la construction de l'indicateur d'exposition ont été réalisés avec le logiciel Epi-expo, téléchargeable sur le site de l'InVS². Les valeurs manquantes pour chaque station ont été remplacées soit par la méthode des moyennes saisonnières soit par la méthode de régression à partir des autres stations en fonctionnement ce jour-là (Psas (15)) [1].

2.3.3.4. Valeurs guide préconisées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour les polluants retenus dans l'étude

Les lignes directrices de l'OMS³ en vigueur sur la qualité de l'air sont présentées ci-après (tableau 1).

¹ Bilan de la qualité de l'air en France en 2007.

² <http://www.invs.sante.fr/>

³ Guidelines for Air Quality, WHO, 2005.

Tableau 1. Valeurs guide OMS pour les polluants considérés dans l'EIS 2012

| Polluants | Valeurs guide OMS | | |
|-------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| | Moyenne annuelle | Moyenne sur 24 heures | Maximum journalier sur 8 heures |
| PM _{2,5} | 10 µg/m ³ | 25 µg/m ³ | - |
| PM ₁₀ | 20 µg/m ³ | 50 µg/m ³ | - |
| O ₃ | - | - | 100 µg/m ³ |

2.4. Indicateurs sanitaires

2.4.1. Données de mortalité

Les données de mortalité ont été obtenues auprès du Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDc) de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). Les données ont été sélectionnées à partir de la cause principale de décès selon les codes de la Classification internationale des maladies, version 10 (CIM-10), de l'OMS. Elles correspondaient au nombre de décès, tous âges confondus, des personnes domiciliées dans la zone d'étude :

- mortalité totale (A00-Y98) ;
- mortalité non-accidentelle (A00-R99) ;
- mortalité par causes cardiovasculaires (I00-I99).

Les données ont été recueillies par année, par tranche d'âge de 5 ans, par sexe et par commune de domicile.

2.4.2. Données d'hospitalisation

Les données d'admissions hospitalières ont été extraites à partir du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI). Seuls les établissements répondant aux critères courts séjours, établissements publics et privés ont été sélectionnés. La sélection des séjours hospitaliers, tous âges confondus, a été effectuée selon le code CIM-10 du diagnostic principal :

- J00-J99, pour les admissions pour causes respiratoires ;
- I00-I52, pour les admissions pour causes cardiaques.

Les données ont été recueillies par année, par commune de domicile et par classe d'âge (0-14 ans, 15-64 ans et plus de 65 ans). Dans la requête, le lieu de résidence des patients est identifié par le Code postal (CP). Certaines communes de la zone d'étude ont un CP en commun avec d'autres communes situées en dehors de cette zone. De ce fait, les indicateurs fournis par le PMSI ont été pris en compte à hauteur du poids respectif de chaque commune (en nombre d'habitants) parmi les autres communes ayant le même CP. Pour cette étude, il s'agit des communes d'Aulnat (63510), Le Cendre (63670) et Cournon d'Auvergne (63800).

2.5. Choix des relations exposition-risque

Les relations E-R retenues sont issues d'études épidémiologiques réalisées en population générale et s'intéressent directement aux liens existant entre la pollution de l'air et la santé de l'homme. Elles ont été choisies pour des populations et des niveaux de concentrations comparables à ceux observés dans la zone d'étude, et avec des méthodes de mesures comparables. Les études multicentriques françaises ou européennes ont été privilégiées. En l'absence de données européennes, il était possible de se référer à des études nord-américaines [1].

2.5.1. Relations exposition-risque à court terme

Les RR utilisés dans cette EIS sont présentés avec leurs intervalles de confiance à 95 % (IC 95 %) dans les tableaux 2 à 4.

Tableau 2. Risques relatifs de mortalité non-accidentelle pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution

| Indicateurs de pollution | RR | IC 95 % | Etude retenue |
|--------------------------|-------|-------------|---------------|
| PM ₁₀ | 1,006 | 1,004-1,008 | [2] |
| O ₃ | 1,003 | 1,002-1,005 | [7] |

Tableau 3. Risques relatifs d'hospitalisations pour causes cardiaques pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution

| Indicateurs de pollution | RR | IC 95 % | Etude retenue |
|--------------------------|-------|-------------|---------------|
| PM ₁₀ | 1,006 | 1,003-1,009 | [8] |

Tableau 4. Risques relatifs d'hospitalisations pour causes respiratoires pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution

| Indicateurs de pollution | RR | IC 95 % | Etude retenue |
|--------------------------|-------|-------------|---------------|
| PM ₁₀ | 1,011 | 1,004-1,008 | [8] |
| O ₃ 15-64 ans | 1,001 | 0,991-1,012 | [2] |
| O ₃ ≥ 65 ans | 1,005 | 0,998-1,012 | [2] |

Les RR 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 1,011. 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 1,1 %.

2.5.2. Relation exposition-risque à long terme

La relation E-R de la cohorte de l'American Cancer Society [10,11] a été retenue puisqu'en l'absence de cohorte européenne, cette cohorte est à l'heure actuelle la plus puissante pour étudier les effets à long terme de la pollution atmosphérique.

Les RR associés à une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution se situent, entre 1,06 et 1,12 (tableaux 5 et 6). Cela signifie que pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'expositions aux PM_{2,5}, le risque de mortalité augmente de 1,06 à 1,12 pour des personnes exposés à ce type de polluant par rapport à des personnes non exposées.

Tableau 5. Risque relatif de mortalité totale à long terme pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux de PM_{2,5}

| Indicateur de pollution | RR | IC 95 % | Etude retenue |
|-------------------------|------|-----------|---------------|
| PM _{2,5} | 1,06 | 1,02-1,11 | [10] |

Les facteurs de confusion pris en compte sont : l'âge, le sexe, l'origine ethnique, le niveau d'éducation, le statut matrimonial, la consommation de tabac et d'alcool, l'alimentation, la masse corporelle et l'exposition professionnelle.

Tableau 6. Risque relatif de mortalité par causes cardiovasculaires à long terme pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux de PM_{2,5}

| Indicateur de pollution | RR | IC 95 % | Etude retenue |
|-------------------------|------|-----------|---------------|
| PM _{2,5} | 1,12 | 1,08-1,15 | [11] |

Les facteurs de confusion pris en compte sont : l'âge, le sexe et l'origine ethnique.

2.6. Caractérisation du risque

Cette étape permet de quantifier l'impact sanitaire en calculant un nombre d'événements attribuables à un indicateur d'exposition donné pour un indicateur sanitaire donné sur la période d'étude choisie. Elle consiste à appliquer les relations E-R aux données locales de pollution, de mortalité et de morbidité collectées pour cette étude.

Dans la démarche d'évaluation de risque, le nombre d'événements sanitaires attribuables à une exposition donnée est calculé à partir du RR associé à l'exposition et du nombre moyen d'événements sanitaires survenus au cours de la période considérée selon la formule suivante :

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

avec :

- PA=proportion d'événements sanitaires attribuables à l'exposition ;
- RR=risque relatif associé à l'exposition ;
- f=fraction de la population exposée (prévalence de l'exposition).

Or, dans le cas de la pollution atmosphérique :

- f=1 car toute la population est exposée au niveau de pollution retenu ;
- RR=RR_Δ : excès de risque associé à un différentiel de pollution Δ, donné par la relation E-R associée au polluant et à l'indicateur sanitaire étudiés.

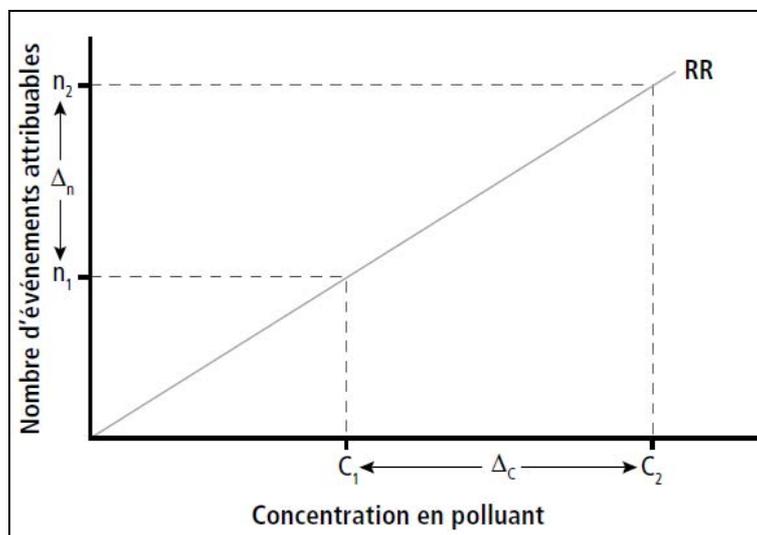
Le nombre de cas attribuables (NA) pour la période considérée est donc calculé pour un différentiel de pollution selon la formule simplifiée suivante :

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

avec : N =nombre d'événements sanitaires sur la période considérée.

Le principe du calcul est représenté dans la figure 1.

Figure 1. Principe du calcul de l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution [16]



Le RR provient d'une étude épidémiologique dont les résultats sont considérés comme pouvant être extrapolés dans les villes françaises. Il permet de connaître, pour chaque concentration en polluants C_i , le nombre de cas n_i attribuables à la pollution ; ainsi, on peut également déterminer une variation du nombre d'événements Δn attribuables à une variation des concentrations ΔC .

Pour chaque jour, on obtient donc un nombre de cas attribuables, ces cas étant ensuite additionnés pour obtenir le nombre annuel.

Pour estimer le gain sanitaire pouvant être obtenu par une réduction de la pollution, le principe est le même. C_2 prend la valeur des concentrations journalières mesurées et on fixe C_1 ou ΔC en fonction du scénario que l'on veut tester. On obtient ainsi les gains quotidiens en ramenant les concentrations observées à une certaine valeur ou en les abaissant d'un certain pourcentage, que l'on additionne ensuite pour obtenir le gain sanitaire annuel.

En pratique, le nombre d'événements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique est calculé pour chacun des indicateurs d'exposition et pour chaque journée de la période d'étude considérée. L'impact sanitaire sur l'année est ensuite obtenu en additionnant les événements sanitaires attribuables pour chaque jour.

Ce calcul s'applique pour chacun des indicateurs d'exposition caractérisant la pollution urbaine. Cependant, les RR associés à chaque indicateur d'exposition n'étant pas indépendants, les nombres d'événements sanitaires attribuables aux indicateurs de pollution ne sont pas cumulables.

Cette étape de caractérisation du risque a été réalisée sous Excel grâce à une feuille de calcul développée par l'InVS [1]. Cette application permet de réaliser de manière automatisée et standardisée une EIS pour différents indicateurs de pollution atmosphérique, différents indicateurs sanitaires et selon différents scénarios préétablis.

2.6.1. Caractérisation du risque, EIS à court terme

Le calcul à court terme a été réalisé pour l'O₃ et les PM₁₀ estimées, sur la base des relations E-R retenues (tableau 7).

Les gains sanitaires attendus pour l'O₃ et les PM₁₀ ont été calculés à partir des scénarios suivants :

- **scénario 1**, appelé « **Scénario OMS** » qui correspond au gain sanitaire attendu en ramenant les niveaux mesurés de l'indicateur de pollution aux valeurs guides recommandées par l'OMS en 2005 [4] les jours où cette valeur était dépassée soit :
 - 100 µg/m³ (en maximum journalier sur 8 heures), pour l'O₃ ;
 - 20 µg/m³ (en moyenne annuelle), pour les PM₁₀.
- **scénario 2**, appelé « **Scénario de réduction de fond** » correspondant au gain sanitaire attendu sous l'hypothèse d'une diminution de 5 µg/m³ de la moyenne annuelle pour l'O₃ et les PM₁₀.

2.6.2. Caractérisation du risque, EIS à long terme

Le calcul à long terme a été réalisé uniquement pour les PM_{2,5} estimées, à partir des relations E-R retenues (tableau 7). Les niveaux de référence ont été choisis en cohérence avec ceux utilisés dans le programme européen Aphekom (Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe) [14].

Les gains sanitaires attendus pour les PM_{2,5} ont été calculés à partir des scénarios suivants :

- **scénario 1**, appelé « **Scénario OMS** » qui correspond au gain sanitaire attendu sous l'hypothèse d'une diminution de la moyenne annuelle des PM_{2,5} à 10 µg/m³, valeur correspondant à la valeur guide pour la protection de la santé humaine OMS 2005 [4].
- **scénario 2**, appelé « **Scénario de réduction de fond** » correspondant au gain sanitaire attendu sous l'hypothèse d'une diminution de 5 µg/m³ de la moyenne annuelle des PM_{2,5}.

Seuls les scénarios d'amélioration de la qualité de l'air conduisant à un gain sanitaire non négligeable (> 1 décès ou 1 hospitalisation évités) sont présentés dans la partie relative aux résultats (pages 29-30).

Tableau 7. Récapitulatif pour chaque polluant des valeurs des niveaux de référence (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en fonction du scénario, des relations E-R retenues et des effets sanitaires associés

| EIS | Polluants | Scénario OMS : niveau ramené à un niveau de référence | Scénario de réduction de fond | Relation E-R retenue | Effet sanitaire retenu | Référence |
|--------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|-----------|
| Court terme | O ₃ | 100 * | 5 | ▪ RR=1,003 [1,002-1,005] | ▪ Mortalité non-accidentelle | [7] |
| | | | | ▪ RR=1,001 [0,991-1,012] | ▪ Hospitalisations respiratoires (15-64 ans) | [2] |
| | | | | ▪ RR=1,005 [0,998-1,012] | ▪ Hospitalisations respiratoires (plus de 65 ans) | [2] |
| | PM ₁₀ | 20 ** | 5 | ▪ RR=1,006 [1,004-1,008] | ▪ Mortalité non-accidentelle | [2] |
| | | | | ▪ RR=1,006 [1,003-1,009] | ▪ Hospitalisations cardiaques | [8] |
| | | | | ▪ RR=1,011 [1,004-1,008] | ▪ Hospitalisations respiratoires | [8] |
| Long terme | PM _{2,5} | 10 ** | 5 | ▪ RR=1,06 [1,02-1,11] | ▪ Mortalité totale (plus de 30 ans) | [10] |
| | | | | ▪ RR=1,12 [1,08-1,15] | ▪ Mortalité cardiovasculaire (plus de 30 ans) | [11] |

* : en maximum journalier sur 8 heures.

** : en moyenne annuelle.

3. Résultats

3.1. Caractérisation de la zone et de la période d'étude

3.1.1. Description de la zone d'étude

3.1.1.1. Communes sélectionnées

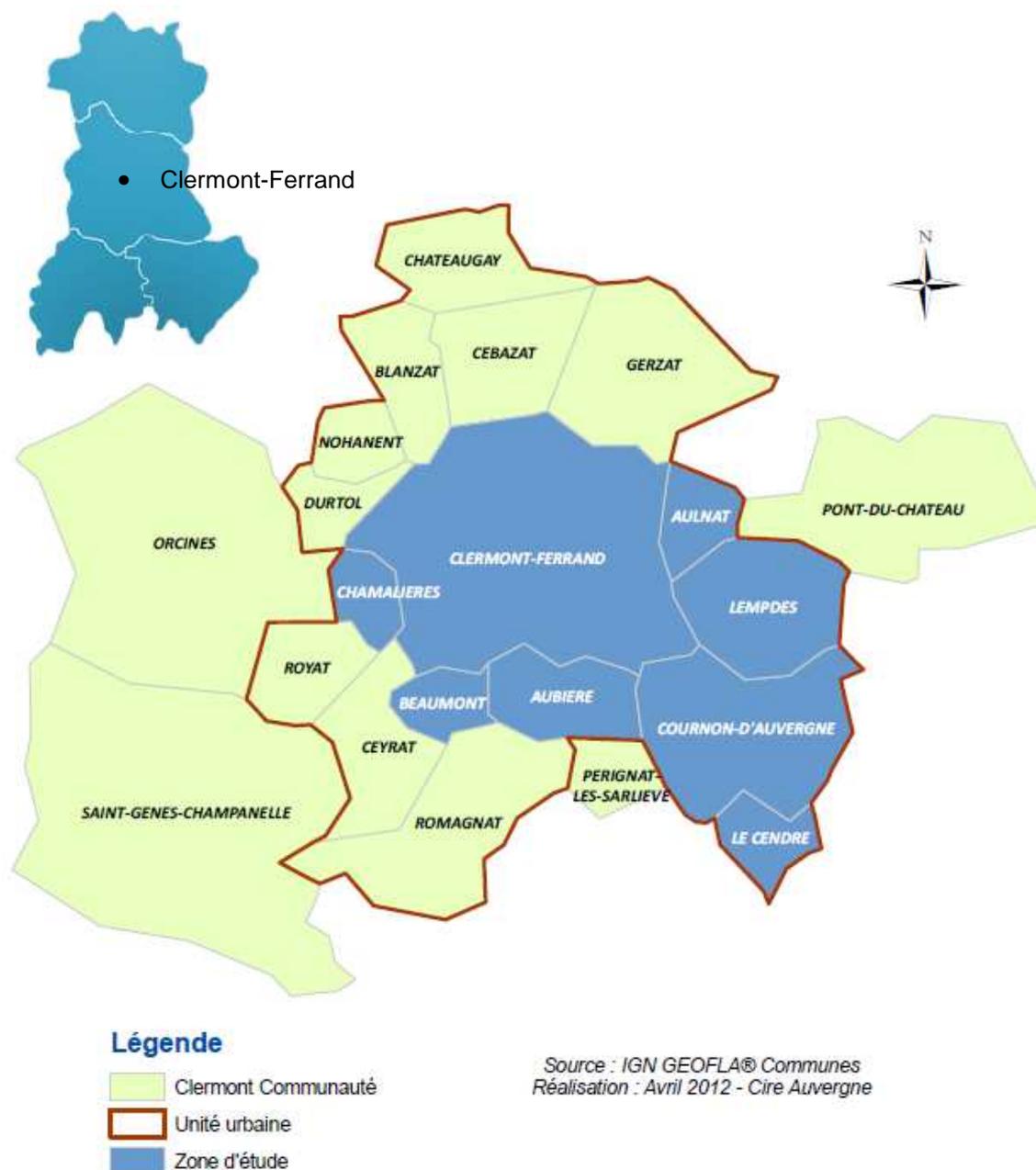
L'agglomération de Clermont-Ferrand est la principale agglomération de la région Auvergne. Avec 260 402 habitants (Source : Insee 2008), elle regroupe 41 % de la population du Puy-de-Dôme sur 2 % de sa superficie. C'est également le principal bassin d'emploi du Puy-de-Dôme, puisqu'elle offre 58 % des emplois du département. L'agglomération clermontoise est constituée de 17 communes, selon la définition de l'unité urbaine spécifiée par l'Insee (Source : Insee 2010).

La zone retenue pour l'EIS ne couvre pas l'ensemble des 17 communes (figure 2) car toutes ne remplissent pas les critères de sélection de la zone d'étude⁴ (§ 2.1.).

Ainsi, sur l'agglomération clermontoise, la zone d'étude comprend 8 communes : Aubière, Aulnat, Beaumont, Le Cendre, Chamalières, Clermont-Ferrand, Cournon d'Auvergne et Lempdes, correspondant à une superficie de 97,5 km² (figure 2). Les paramètres intervenant dans l'EIS et ceux justifiant la sélection des 8 communes sont décrits ci-après.

⁴ 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 (Source : Insee 2010).

Figure 2. Localisation des communes retenues pour la zone d'étude



3.1.1.2. Topographie et météorologie

3.1.1.2.1. 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 1 465 m, et au Sud par le plateau de Gergovie et les pentes de Montrognon (700 m) (annexe 1). 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 (communication personnelle, Atmo Auvergne).

3.1.1.2.2. 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 12 °C (Source : Météo France – Rose des vents en annexe 2).

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 foehn⁵) ou par vent de nord-est (assez rare) empêchant la pollution de sortir de la demi-cuvette.

3.1.1.3. Population et déplacements

3.1.1.3.1. Nombre d'habitants et densité de population

Au recensement 2008, les 8 communes concernées regroupent 213 403 habitants pour une surface de 97,5 km². La commune de Clermont-Ferrand couvre 73 % de cette superficie et totalise 139 006 habitants. La densité globale de la zone d'étude est de 2 189 hab/km² (tableau 8).

Tableau 8. Population, superficie et densité de population des communes de la zone d'étude (Source : Insee 2008)

| Commune | Population | Superficie (km ²) | Densité (habitants/km ²) |
|------------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Aubière | 9 977 | 7,7 | 1 299 |
| Aulnat | 4 272 | 4,2 | 1 015 |
| Beaumont | 10 953 | 4,0 | 2 731 |
| Le Cendre | 4 611 | 4,2 | 1 093 |
| Chamalières | 17 148 | 3,8 | 4 548 |
| Clermont-Ferrand | 139 006 | 42,7 | 3 257 |
| Cournon-d'Auvergne | 19 124 | 18,6 | 1 029 |
| Lempdes | 8 312 | 12,3 | 676 |
| Ensemble zone d'étude | 213 403 | 97,5 | 2 189 |

3.1.1.3.2. Caractéristiques des populations

Les moins de 15 ans représentaient 13,5 % de la population de la zone d'étude, les 15-64 ans, 70,3 % et les 65 ans et plus, 16,2 %. La répartition de la population par tranche d'âge était relativement homogène dans les 8 communes d'étude : entre 10,9 et 17,1 % pour

⁵ L'effet de foehn, ou effet de föhn, est un phénomène météorologique créé par la rencontre de la circulation atmosphérique et du relief quand un vent dominant est entraîné au-dessus d'une chaîne montagneuse et redescend de l'autre côté après l'assèchement de son contenu en vapeur d'eau. Le nom vient du *foehn*, un vent fort, chaud et sec que l'on rencontre dans certaines régions d'Europe (communication personnelle, Atmo Auvergne).

les 0-14 ans, entre 65,2 % et 72,6 % pour les 15-64 ans et entre 14,8 % et 23,5 % pour les 65 ans et plus. La part des 65 ans et plus était la plus faible dans la commune de Clermont-Ferrand (14,8 %) (tableau 9). Le détail des données démographiques figure en annexe 3.

Tableau 9. Répartition par tranche d'âge de la population de la zone d'étude (Source : Insee 2008)

| Tranches d'âge | Ensemble zone d'étude | % |
|--------------------|-----------------------|-------|
| 0-14 ans | 28 860 | 13,5 |
| 15-64 ans | 149 977 | 70,3 |
| 65 ans et + | 34 566 | 16,2 |
| Total | 213 403 | 100,0 |

3.1.1.3.3. Déplacements domicile-travail

Tableau 10. Navettes domicile-travail de la population de la zone d'étude (Source : Insee 2008)

| 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 | |
|------------------------------|----------------|------------------------|---------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|--------------|
| | | | % actifs | % pop. | % actifs | % pop. | % actifs | % pop. |
| Aubière | 9 977 | 3 968 | 28,2 % | 11,2 % | 49,7 % | 19,8 % | 22,1 % | 8,8 % |
| Aulnat | 4 272 | 1 897 | 22,2 % | 9,9 % | 56,7 % | 25,2 % | 21,1 % | 9,4 % |
| Beaumont | 10 953 | 5 002 | 18,2 % | 8,3 % | 59,1 % | 27,0 % | 22,7 % | 10,4 % |
| Le Cendre | 4 611 | 1 920 | 14,8 % | 6,2 % | 67,1 % | 27,9 % | 18,1 % | 7,5 % |
| Chamalières | 17 148 | 7 583 | 21,3 % | 9,4 % | 56,0 % | 24,8 % | 22,7 % | 10,0 % |
| Clermont-Ferrand | 139 006 | 56 241 | 71,2 % | 28,8 % | 7,7 % | 3,1 % | 21,1 % | 8,5 % |
| Cournon-d'Auvergne | 19 124 | 8 060 | 28,6 % | 12,0 % | 53,1 % | 22,4 % | 18,3 % | 7,7 % |
| Lempdes | 8 312 | 3 490 | 29,6 % | 12,4 % | 54,7 % | 23,0 % | 15,7 % | 6,6 % |
| Ensemble zone d'étude | 213 403 | 164 772 | 29,3 % | 12,3 % | 50,5 % | 21,7 % | 20,2 % | 8,6 % |

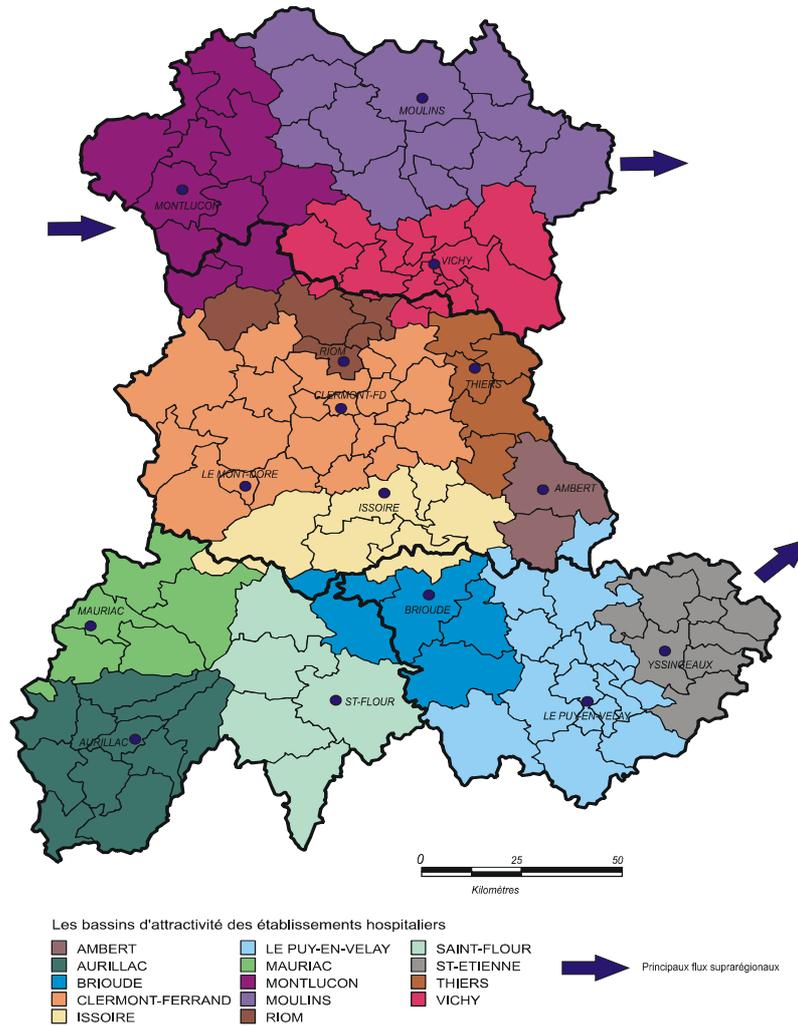
Globalement 79,8 % des actifs résident et travaillent dans la zone d'étude retenue, avec respectivement 29,3 % des actifs qui travaillent dans leur commune de résidence et 50,5 % d'entre eux qui travaillent dans une autre commune de la zone d'étude (tableau 10).

Autrement dit, 20,2 % des actifs quittent quotidiennement la zone d'étude pour aller travailler, ce qui représente 8,6 % de la population totale résidente. On peut donc considérer que la très grande majorité des personnes résidentes (91,4 %) reste dans la zone d'étude quotidiennement.

3.1.1.4. Attractivité hospitalière

Les données relatives à l'attractivité hospitalière ont été fournies par l'Agence régionale de santé d'Auvergne (ARS Auvergne). Il apparaît que la majorité des patients résidant dans la zone d'étude sont hospitalisés dans des établissements publics ou privés de cette même zone (figure 3).

**Figure 3. Aires d'attractivité des établissements hospitaliers de la région Auvergne
(Source : ARS Auvergne)**



Source: PMSI 2008 / INSEE
Inra, UMR1041 CESAER - Distancier Odometrix

ARS Auvergne / Mission stratégie régionale de santé
Juin 2010

3.1.1.5. Sources de pollution

Le Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique (Citepa) a réalisé en 2010 un inventaire régional d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre dans le cadre du SRCAE en estimant les proportions attribuables aux différentes sources de pollution (Source : Citepa 2010). Le tableau 11 présente les résultats pour l'unité urbaine de Clermont-Ferrand.

**Tableau 11. Emissions de polluants atmosphériques dans l'unité urbaine de Clermont-Ferrand
(Source : Citepa 2010)**

| Polluants | PM₁₀ | NO_x |
|-------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Emissions (tonnes) | 352 | 3 452 |
| <i>Origines principales en % de l'émission totale</i> | | |
| Chauffage urbain | 0,0 | 0,9 |
| Résidentiel et tertiaire | 56,0 | 19,5 |
| Industrie | 3,1 | 6,5 |
| Agriculture | 3,7 | 1,2 |
| Transport routier | 31,8 | 68,3 |
| Autres transports | 5,4 | 6,2 |

Les principales sources de pollution sont principalement imputables aux transports routiers avec 68,3 % d'émissions liées aux NO_x. Les autres sources de pollution sont le secteur résidentiel et tertiaire et les autres transports.

Les émissions de PM proviennent essentiellement du secteur résidentiel et tertiaire avec une contribution de 56 % des PM₁₀.

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

3.1.1.6. 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 6 stations fixes sur la zone d'étude retenue et pour la période considérée, décrites dans les tableaux 12 et 13 (voir également leur implantation en annexe 4).

Tableau 12. Description des stations présentes sur la zone d'étude pour la période 2007-2009 (Source : Atmo Auvergne)

| Station | Type de station | Densité de population (hab/km ²)* | Environnement immédiat de la station | Sources de pollution | Hauteur de prélèvements [†] | Polluants mesurés | Date de mise en place |
|-----------------------|-----------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Delille | urbain | 7 941 | dans la cour d'une résidence (parking) ; arbres à proximité | pollution urbaine | 3,6 m | NO, NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} | 12.12.1997 |
| Jardin Lecoq | urbain | 11 063 | arbres + bâtiments | pollution urbaine | 2,9 m | NO, NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ , Métaux lourds (As, Cd, Pb, Ni) | 02.01.2003 |
| Montferrand | urbain | 4 028 | dans cour d'école ; 22 900 véhicules/j à 126 m (2x2 voies) + 40 250 véhicules/j à 320 m (2/2 voies) | industrie et circulation automobile | 4,4 m | NO, NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , FN, Matières organiques (particulaire / gazeuse) | 06.02.1993 |
| Gerzat | périurbain | 1 613 | bâtiment | pollution urbaine | 3,7 m | NO, NO ₂ , O ₃ , Matières organiques (particulaire / gazeuse) | 01.08.1991 |
| Chamalières Europe ** | trafic | 5 323 | carrefour sur rue large | circulation automobile | 3,2 m | NO, NO ₂ , PM ₁₀ | 05.03.2009 |
| Esplanade de la gare | trafic | 9 065 | rue large | circulation automobile | 3,2 m | NO, NO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} , FN | 03.05.2005 |
| Roussillon | trafic | 3 000 | rue large | circulation automobile | 3 m | NO ₂ , CO | 02.10.2003 |

* dans un rayon de 1 km.

** a remplacé la station Roussillon, arrêtée depuis le 17.02.2009.

Tableau 13. Description des méthodes analytiques (Source : Atmo Auvergne)

| Polluant | Stations de mesure | Méthode de mesure |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| PM _{2.5} | Delille, Montferrand, Esplanade de la gare | Micro-balance + FDMS |
| PM ₁₀ | Delille, Jardin Lecoq, Montferrand, Chamalières Europe*, Esplanade de la gare | Micro-balance + FDMS * Jauge Bêta |
| O ₃ | Delille, Jardin Lecoq, Montferrand, Gerzat | Absorption UV |

Le tableau 14 compare les niveaux moyens de pollution sur l'agglomération clermontoise pour les années 2007-2009 aux valeurs guides de OMS⁶.

⁶ Guidelines for Air Quality, WHO, 2005.

Tableau 14. Niveaux moyens de pollution (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur l'agglomération clermontoise pour les années 2007-2009 (Source : Atmo Auvergne)

| Polluants (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Delille | Jardin Lecoq | Montferrand | Gerzat | Chamalières | Esplanade de la gare | Valeurs guides OMS 2000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|---------------------------------------------|-------------|-----------------|-------------|--------|-------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|
| PM_{2,5} (moyenne annuelle) | 13,3 | NM | 15,3 | NM | NM | 15,6 | 10,0 |
| PM₁₀ (moyenne annuelle) | 18,0 | 20,0 | 19,5 | NM | NM | 23,5 | 20,0 |
| O₃ (moyenne 8h estivale) | 84,3 | 84,8 | 89,3 | 86,4 | NM | NM | NC |
| O₃ (moyenne 8h maximale) | 67,8 | 68,6 | 71,8 | 70,9 | NM | NM | 100,0 |

NC : Non communiqué.

NM : Non mesuré.

Les trois stations mesurant les PM_{2,5}, ont présenté des concentrations moyennes dépassant les valeurs guide de l'OMS sur la période d'étude. Pour les PM₁₀, seule la station Esplanade de la gare présente une concentration annuelle dépassant la valeur guide de l'OMS. Concernant les concentrations maximales en O₃ observées sur 8 heures, aucune des stations ne présente un niveau moyen annuel supérieur à la valeur guide de l'OMS. Une comparaison des niveaux moyens de pollution entre les périodes 2007-2009 (actuelle EIS) et 1999-2000 (EIS, 2005 [13]) est présentée en annexe 5.

3.1.2. Description de la période d'étude

La période d'étude retenue couvre une période de trois années consécutives, excluant les années comportant des événements climatiques ou sanitaires exceptionnels (2003 et 2006). Etant donné le délai de mise à disposition des données sanitaires, la période d'étude retenue s'étend du 1^{er} janvier 2007 au 31 décembre 2009. Ce choix permet d'avoir la même période d'étude pour les données sanitaires et météorologiques.

Afin de vérifier que les trois années retenues ne sont pas des années particulières en termes de pollution, les paramètres météorologiques (facteurs intervenant dans la dispersion des polluants) de ces années ont été comparés à ceux des 9 années antérieures (tableau 15).

Tableau 15. Comparaison des paramètres météorologiques des 3 années tropiques 2007-2009 avec ceux des années 1991-1999 (Source : Météo France)

| | Paramètres météorologiques | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------------|-------|-----|----------------------------------|-------|-----|-----------------------------|-------|------|
| | Durée moyenne de l'insolation (heures) | | | Nombre moyen de jours de vent fort*/année | | | Nombre moyen de jours avec pluie | | | Température moyenne (en °C) | | |
| | année | hiver | été | année | hiver | été | année | hiver | été | année | hiver | été |
| 2007 | 1 834 | 688 | 1 145 | 50 | 34 | 16 | 100 | 39 | 61 | 12,0 | 7,1 | 14,4 |
| 2008 | 1 894 | 701 | 1 193 | 49 | 37 | 12 | 103 | 43 | 60 | 11,6 | 7,1 | 16,0 |
| 2009 | 2 038 | 698 | 1 340 | 48 | 29 | 19 | 77 | 35 | 42 | 12,1 | 6,7 | 17,6 |
| Moyenne années 2007-2009 | 1 922 | 695 | 1 226 | 49 | 33 | 16 | 93 | 39 | 54 | 11,9 | 7,0 | 16,0 |
| Moyenne années 1991-1999 | 1 868 | 631 | 1 236 | 54 | 36 | 18 | 86 | 37 | 49 | 11,8 | 6,9 | 16,6 |

* (>16 m/s)

À l'exception du nombre moyen de jours avec pluie observés pour les étés de la période retenue, les paramètres météorologiques recueillis sur la période d'étude (2007-2009) sont du même ordre de grandeur que ceux enregistrés lors de la période historique (1991-1999).

3.2. Indicateurs d'exposition

3.2.1. Description des stations de mesures retenues pour le calcul de l'exposition

L'étude a porté sur l'ensemble des stations de fond urbaines (Delille, Jardin Lecoq et Montferrand) et périurbaines (Gerzat) de la zone d'étude. La station Esplanade de la gare a été exclue en raison de sa proximité avec le trafic. La distribution saisonnière des émissions de polluants sur la période d'étude, ainsi que les corrélations entre stations sont présentées en annexe 6.

Parmi les deux stations mesurant les $PM_{2,5}$ dans la zone d'étude, les distributions des stations Delille et Montferrand sont similaires (moyennes situées entre 13 et 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et les coefficients de corrélations sont élevés (supérieurs à 0,98). Les stations, Delille et Montferrand, ont donc été retenues pour construire l'indicateur d'exposition.

Les distributions des trois stations mesurant les PM_{10} sont comparables (moyennes comprises entre 18 et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et leurs coefficients de corrélation sont supérieurs à 0,96. Les stations sélectionnées pour la construction de l'indicateur d'exposition sont donc : Delille, Jardin Lecoq et Montferrand.

Concernant l'ozone, les stations Delille, Jardin Lecoq, Montferrand et Gerzat ont des distributions très proches (moyennes comprises entre 68 et 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et des coefficients de corrélation tous supérieurs à 0,96. Elles ont donc été retenues. Notons, cependant, que ces concentrations sont plus élevées pour la période estivale, puisqu'elles sont comprises entre 84 et 89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Enfin, il faut souligner que les trois années retenues pour réaliser l'étude, ne sont pas tout à fait représentatives d'une période estivale « normale », puisque ces trois étés consécutifs ont été particulièrement pluvieux et plus frais.

3.2.2. Mesure et analyse des indicateurs d'exposition

Les capteurs retenus mesurent des niveaux proches de pollution et sont bien corrélés entre eux.

Les statistiques descriptives des indicateurs d'exposition et leur distribution par gamme de concentrations sont présentées dans les tableaux 16 et 17. Une représentation statistique en box plot des indicateurs d'exposition mesurés dans l'étude est présentée en annexe 7.

**Tableau 16. Distribution des indicateurs d'exposition pour la période 2007-2009
(Source : Atmo Auvergne)**

| | Concentrations (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | | | |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| | PM _{2,5} | | | PM ₁₀ | | | O ₃ | | |
| | années | hivers | étés | années | hivers | étés | années | hivers | Etés |
| Valeurs manquantes avant remplacement * | 49 (4,5 %) | 30 (5,5 %) | 19 (3,5 %) | 54 (4,9 %) | 24 (4,4 %) | 30 (5,5 %) | 8 (0,7 %) | 3 (0,5 %) | 5 (0,9 %) |
| Minimum | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 38 |
| Percentile 5 | 5 | 5 | 5 | 7 | 6 | 7 | 22 | 14 | 57 |
| Percentile 25 | 8 | 8 | 8 | 11 | 11 | 11 | 53 | 38 | 72 |
| Médiane | 11 | 13 | 10 | 16 | 17 | 15 | 71 | 56 | 86 |
| Percentile 75 | 17 | 22 | 14 | 23 | 27 | 20 | 88 | 70 | 99 |
| Percentile 95 | 37 | 42 | 25 | 43 | 49 | 32 | 110 | 86 | 118 |
| Maximum | 88 | 88 | 60 | 101 | 101 | 65 | 137 | 103 | 137 |
| Moyenne journalière | 14,2 | 16,8 | 11,7 | 19,1 | 21,5 | 16,8 | 69,8 | 53,3 | 86,2 |
| Ecart-type | 10,7 | 12,9 | 7,0 | 12,3 | 14,8 | 8,5 | 26,1 | 21,9 | 18,4 |
| Nombre de valeurs manquantes | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |

* Les valeurs manquantes avant remplacement désignent le nombre de jours où l'indicateur d'exposition n'a pu être calculé directement du fait qu'il manquait au moins une mesure sur l'une des stations retenues. Pour ces jours-ci, l'indicateur d'exposition a été estimé (lorsque possible) par la méthode des moyennes saisonnières ou la régression linéaire. Le détail par polluant de ces valeurs manquantes par station est le suivant :

PM_{2,5} : Delille = 25 j (2,3 %) ; Montferrand = 25 j (2,3 %)

PM₁₀ : Delille = 20 j (1,8 %) ; Jardin Lecoq = 16 j (1,5 %) ; Montferrand = 29 j (2,6 %)

O₃ : Delille = 2 j (0,2 %) ; Jardin Lecoq = 1 j (0,1 %) ; Montferrand = 2 j (0,2 %) ; Gerzat = 3 j (0,3 %)

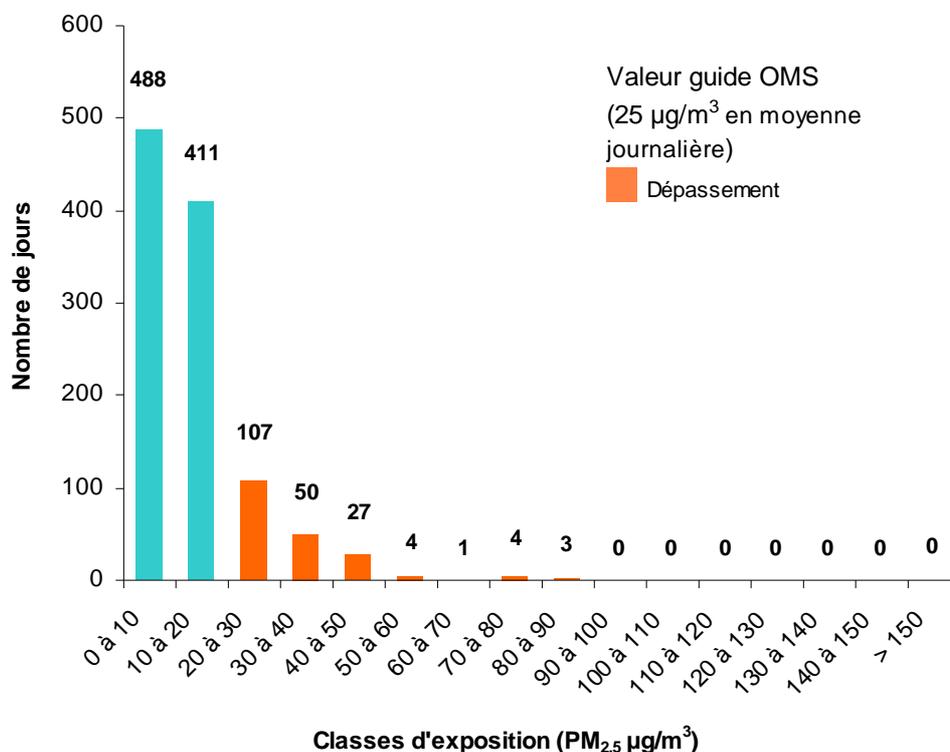
L'indicateur d'exposition n'a pas pu être reconstitué pour une journée (PM_{2,5}) et pour trois journées (PM₁₀) sur la totalité de la période d'étude.

Tableau 17. Distribution des indicateurs d'exposition par gamme d'exposition pour la période 2007-2009 (Source : Atmo Auvergne)

| Concentrations (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Nombre de valeurs | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------|-------------------|--------|------|------------------|--------|------|----------------|--------|------|
| | PM _{2,5} | | | PM ₁₀ | | | O ₃ | | |
| | années | hivers | étés | années | hivers | étés | années | hivers | Etés |
| 0 à 10 | 488 | 203 | 285 | 222 | 114 | 108 | 14 | 14 | 0 |
| 10 à 20 | 411 | 190 | 221 | 506 | 202 | 304 | 36 | 36 | 0 |
| 20 à 30 | 107 | 83 | 24 | 223 | 120 | 103 | 38 | 38 | 0 |
| 30 à 40 | 50 | 40 | 10 | 73 | 57 | 16 | 76 | 75 | 1 |
| 40 à 50 | 27 | 20 | 7 | 35 | 27 | 8 | 75 | 68 | 7 |
| 50 à 60 | 4 | 3 | 1 | 21 | 15 | 6 | 114 | 87 | 27 |
| 60 à 70 | 1 | 1 | 0 | 4 | 3 | 1 | 179 | 96 | 83 |
| 70 à 80 | 4 | 4 | 0 | 3 | 3 | 0 | 174 | 72 | 102 |
| 80 à 90 | 3 | 3 | 0 | 4 | 4 | 0 | 157 | 49 | 108 |
| 90 à 100 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 107 | 10 | 97 |
| 100 à 110 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 70 | 2 | 68 |
| 110 à 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36 | 0 | 36 |
| 120 à 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 16 |
| 130 à 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 |
| 140 à 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| > 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 1 095 | 547 | 548 | 1 093 | 547 | 546 | 1 096 | 547 | 549 |

Les figures 4 à 6 représentent les distributions des indicateurs d'exposition par classes. La comparaison des niveaux de polluants avec les valeurs guide préconisées par l'OMS (tableau 1, § 2.3.3.4.) est présentée ci-dessous.

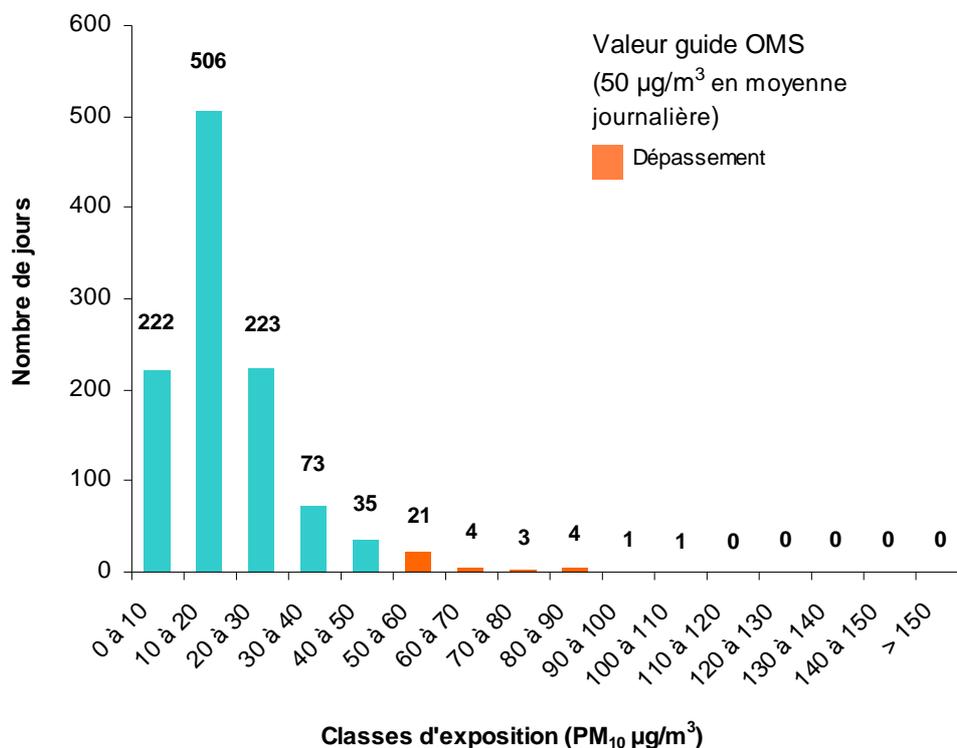
Figure 4. Distribution par classes de l'indicateur d'exposition PM_{2,5}, pour la période 2007-2009



La valeur guide OMS exprimée en moyenne annuelle, 10 µg/m³, n'a pas été respectée pour les 3 années retenues dans l'étude (2007, 2008 et 2009), avec des moyennes annuelles respectives s'élevant à 16,1, 12,5 et 14,2 µg/m³. La distribution par classes montrait que les valeurs journalières ont dépassé cette valeur guide OMS exprimée en moyenne journalière, soit 25 µg/m³, 196 jours sur la période 2007-2009 (figure 4).

Ces dépassements ont principalement été observés l'hiver avec 154 jours de dépassements contre 42 lors de la période estivale. En effet, la principale origine de ce polluant étant le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage), cette observation semble justifiée.

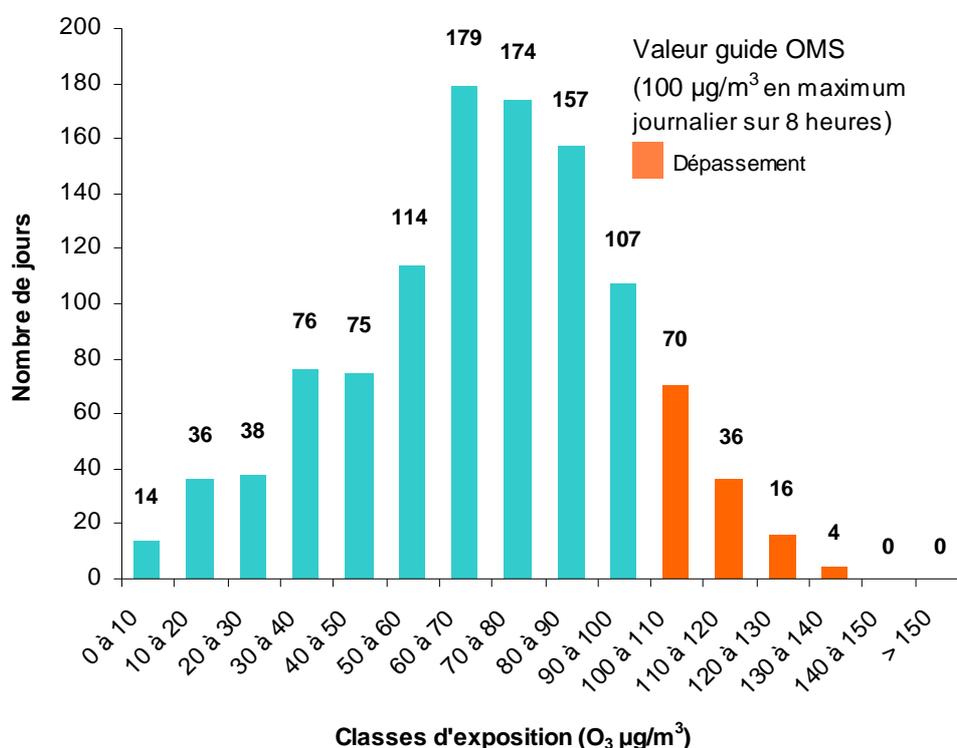
Figure 5. Distribution par classes de l'indicateur d'exposition PM_{10} , pour la période 2007-2009



La valeur guide préconisée par l'OMS exprimée en moyenne annuelle, $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a été respectée pour 2 des 3 années retenues dans l'étude (2007, 2008 et 2009), avec des moyennes annuelles respectives s'élevant à 21,5, 17,5 et $18,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La distribution par classes montrait que les valeurs journalières ont dépassé cette valeur guide OMS exprimée en moyenne journalière, soit $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 34 jours sur la période 2007-2009 (figure 5).

La valeur guide a donc été respectée avec respectivement sur la période 2007-2009, 16, 11 et 7 jours de dépassements contre 35 jours/an à ne pas dépasser selon la réglementation autorisée [12].

Figure 6. Distribution par classes de l'indicateur d'exposition O₃, pour la période 2007-2009



La distribution par classes montrait que les valeurs journalières ont dépassé la valeur guide OMS exprimée en maximum journalier sur 8 heures, soit 100 µg/m³, 126 jours pour les trois années retenues dans l'étude (2007, 2008 et 2009) (figure 6).

3.3. Indicateurs sanitaires

Le nombre moyen annuel de décès sur la période étudiée est de 1 544 décès toutes causes confondues hors causes accidentelles, tous âges confondus, de 1 642 décès (mortalité totale) chez les plus de 30 ans et de 435 décès pour causes cardiovasculaires pour cette même classe d'âge (tableau 18).

Tableau 18. Nombre de décès total, toutes causes sauf accidentelles et cardiovasculaire sur la zone d'étude (Source : Inserm)

| | | Mortalité totale | Mortalité toutes causes sauf accidentelles | Mortalité cardiovasculaire |
|--------------|-------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|----------------------------|
| Tous âges | Nombre moyen annuel de décès | 1 669 | 1 544 | 437 |
| | Taux moyen annuel de décès pour 1 000 habitants | 7,8 | 7,2 | 2,0 |
| Âge ≥ 30 ans | Nombre moyen annuel de décès | 1 642 | 1 526 | 435 |
| | % par rapport au nombre moyen annuel de décès | 98,4 % | 98,9 % | 99,5 % |
| | Taux moyen annuel de décès pour 1 000 habitants | 13,0 | 12,1 | 3,4 |

Le nombre annuel d'hospitalisations des personnes âgées de 65 ans et plus résidant dans la zone d'étude est de 475 pour les motifs respiratoires et de 2 058 pour causes cardiaques, tous âges confondus (tableau 19). Le détail par commune des hospitalisations pondérées par la part de la population concernée est présenté en annexe 8.

Tableau 19. Nombre d'admissions hospitalières de plus de 24 heures pour pathologies respiratoires et cardiaques chez des patients résidant sur la zone d'étude (Source : InVS)

| | Pathologies | Respiratoires | | Cardiaques | |
|------------------|-----------------------------------------------------------|---------------|------------|--------------|--------------|
| | | 15-64 ans | ≥ 65 ans | Tous âges | Tous âges |
| Hivers 2007-2009 | Nombre moyen annuel d'hospitalisations | 278 | 197 | 631 | 950 |
| | Taux moyen annuel d'hospitalisations pour 1 000 habitants | 1,9 | 5,7 | 3,0 | 4,5 |
| Étés 2007-2009 | Nombre moyen annuel d'hospitalisations | 312 | 278 | 827 | 1 108 |
| | Taux moyen annuel d'hospitalisations pour 1 000 habitants | 2,1 | 8,0 | 3,9 | 5,2 |
| Années 2007-2009 | Nombre moyen annuel d'hospitalisations | 589 | 475 | 1 458 | 2 058 |
| | Taux moyen annuel d'hospitalisations pour 1 000 habitants | 3,9 | 13,7 | 6,8 | 9,6 |

3.4. Impact à court terme des PM₁₀

Les résultats sont exprimés par an et pour la zone d'étude qui compte 213 403 habitants.

L'abaissement de 5 µg/m³ de la moyenne annuelle des PM₁₀ (scénario de réduction de fond) permettrait d'éviter chaque année 4,6 décès anticipés [IC 95 % : 3,1 ; 6,1], 8,2 hospitalisations pour causes respiratoires [IC 95 % : 4,5 ; 12,0] et 6,1 hospitalisations pour causes cardiaques [IC 95 % : 3,1 ; 9,2], tous âges confondus.

3.5. Impact à court terme de l'ozone

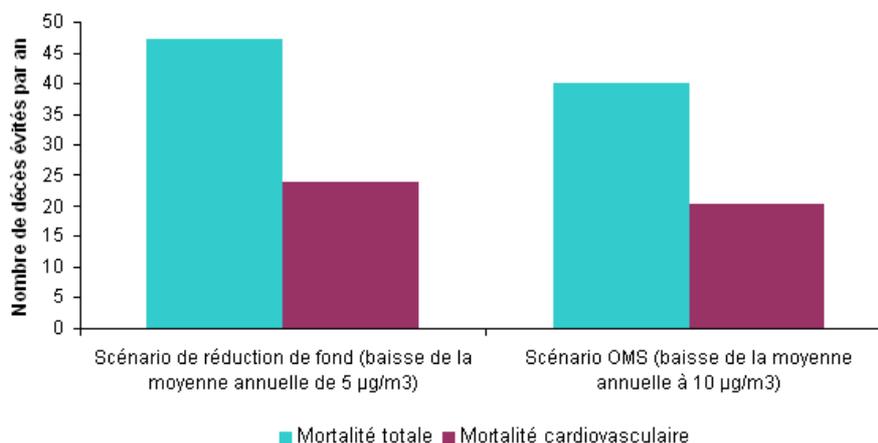
Le même scénario utilisé pour l'ozone aboutit, par année, à 2,4 décès évitables [IC 95 % : 1,3 ; 4,0], tous âges confondus et à 1,2 hospitalisation respiratoire évitable [IC 95 % : 0,2 ; 2,8], chez les plus de 65 ans.

3.6. Impact à long terme des $PM_{2,5}$

Pour une diminution des moyennes annuelles en $PM_{2,5}$ de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (scénario de réduction de fond), le gain sanitaire potentiel est estimé à 47 décès évités [IC 95 % : 16,2 ; 83,5] chez des personnes âgées de plus de 30 ans (soit 2,9 % de décès pour les décès observés dans la zone d'étude retenue, chez les plus de 30 ans). Parmi ces décès évités, 24 sont d'origine cardiovasculaire [IC 95 % : 16,4 ; 29,4], ce qui représente 5,5 % des décès chez des personnes âgées de plus de 30 ans pour la mortalité cardiovasculaire observée dans la zone d'étude à cette période. Le gain serait de 40 décès évités [IC 95 % : 13,7 ; 70,9], chez les plus de 30 ans (soit 2,4 % de décès pour les décès observés dans la zone d'étude retenue, chez des personnes âgées de plus de 30 ans), si les niveaux annuels de particules fines respectaient les valeurs guides recommandées par l'OMS (scénario OMS avec une moyenne annuelle de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Parmi ces décès évités, 20 sont d'origine cardiovasculaire [IC 95 % : 14,0 ; 25,0], ce qui représente 4,6 % des décès chez les plus de 30 ans, pour la mortalité cardiovasculaire observée dans la zone d'étude retenue à cette période (figure 7).

D'autre part, une diminution de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux moyens annuels de $PM_{2,5}$ conduirait pour une personne de 30 ans au moment de l'étude à un gain moyen d'espérance de vie de l'ordre de 4,6 mois [IC 95 % : 1,6 ; 8,2] tandis que le respect de la valeur guide de l'OMS conduirait à un gain moyen d'espérance de vie à 30 ans de 3,8 mois [IC 95 % : 1,3 ; 7,0].

Figure 7. Estimation de cas attribuables au polluant $PM_{2,5}$ dans l'agglomération clermontoise pour l'impact à long terme



4. Discussion

4.1. Hypothèses, limites et incertitudes de l'EIS

Afin d'apprécier la validité des résultats obtenus, il convient de rappeler et de préciser les hypothèses, erreurs et incertitudes inhérentes à chacune des étapes de l'EIS (qui entraînent le plus souvent une sous-estimation du nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique).

4.1.1. Choix de la zone d'étude

La configuration géographique particulière de l'agglomération clermontoise joue un rôle pénalisant en terme de qualité de l'air puisque les diverses barrières topographiques limitent le transport et la dispersion des polluants. C'est la raison pour laquelle la plupart des communes situées à l'ouest de l'agglomération où l'altitude y est plus élevée qu'en centre-ville, ont été exclues. C'est le cas notamment de Durtol et Royat. La zone d'étude s'est donc restreinte à 8 communes sur les 21 qui composent Clermont-Communauté (figure 2). Les calculs de l'EIS de la pollution atmosphérique couvrent ainsi 82,0 % de la population de l'unité urbaine de Clermont-Ferrand et 76,2 % de la population de Clermont Communauté.

Par ailleurs, le tracé de la zone d'étude suit le contour des communes qui sont des limites administratives. Or, ce découpage n'est qu'une approximation de la distribution spatiale de chacun des polluants étudiés. En effet, les polluants atmosphériques ne connaissant pas de « frontières », il semble difficile d'affirmer que la zone d'étude choisie correspond à la zone « réelle » d'exposition aux polluants de la population (cf. § 4.1.3. Estimation de l'exposition).

4.1.1.1. Choix des polluants

Pour cette étude, les polluants retenus sont ceux mesurés habituellement sur l'agglomération clermontoise et pour lesquels des effets sur la santé ont été démontrés et quantifiés (existence d'une relation E-R) : ils ne représentent cependant qu'une partie du mélange complexe que constitue la pollution atmosphérique. Ainsi, même si l'EIS s'est intéressée à des effets de type respiratoires ou cardiaques, d'autres polluants comme le benzène peuvent induire d'autres pathologies à long terme comme la survenue de cancers (leucémies) [4]. Dans ce cas là, l'EIS a tendance à sous-estimer l'impact sanitaire réel.

4.1.1.2. Choix des stations

Les stations de mesures présentant des concentrations en polluants homogènes entre elles ont été retenues. En retirant les stations représentatives d'une forte exposition (stations trafic), l'estimation de l'exposition peut s'en trouver diminuée alors que les données sanitaires recueillies peuvent, pour une part non quantifiable, s'expliquer sur la base de ces expositions. Ainsi, le choix des stations de mesures peut conduire à sous-estimer l'EIS pour certains groupes de population et laisser à penser que les niveaux d'exposition sont semblables en tout point de la zone d'étude, ce qui n'est pas le cas.

4.1.2. Choix de la période d'étude

La période retenue (2007-2009) pose pour l'ozone, un problème de représentativité des données d'exposition puisque les trois étés considérés dans l'étude se sont révélés particulièrement pluvieux. Pour preuve, le nombre de jours de pluie observé sur les étés 2007 et 2008, respectivement 61 et 60 jours, était supérieur à la moyenne observée sur neuf années antérieures que sont 1991 à 1999, avec 49 jours de pluie. L'impact sanitaire lié à ce polluant est, par conséquent, probablement sous-estimé. En effet, il convient de rappeler que l'ozone est issu de la transformation photochimique de certains polluants primaires dans l'atmosphère (en particulier, NO_x et Composés organiques volatils (COV)) sous l'effet des rayonnements ultraviolets.

Concernant les particules, les données d'exposition recueillies sur la période d'étude (2007-2009) sont représentatives des années antérieures.

4.1.3. Estimation de l'exposition

L'exposition a été estimée de manière globale à l'échelle de la population de la zone d'étude. L'hypothèse sous-jacente est que la population est exposée quotidiennement à des niveaux de pollution homogènes sur l'ensemble de la zone d'étude. Cette hypothèse masque les inégalités d'exposition géographique (notamment, l'impact du trafic routier avec une exposition au NO₂ et aux particules plus importante dans les rues "canyons"). Or, le programme européen Aphekom [17] a récemment montré qu'habiter à proximité du trafic routier est un facteur majorant dans le développement de pathologies chroniques. Il a été estimé notamment que, dans 10 villes européennes (hors France), le fait d'habiter à proximité du trafic routier pourrait être responsable d'environ 15 à 30 % des asthmes de l'enfant et de pathologies chroniques respiratoires et cardiovasculaires fréquentes chez les adultes de plus de 65 ans.

De plus, un même niveau moyen quotidien d'exposition a été attribué aux personnes résidant dans la zone d'étude alors que ces dernières peuvent être exposées à des niveaux variables dans la même journée. Les flux de population vers ou en dehors de la zone d'étude en sont l'illustration.

En effet, une partie de la population (tableau 10) s'absente 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 sur ou sous-estimer l'impact sanitaire. Pour les mêmes raisons, la zone d'étude attire une population non-résidente (plus de 133 780 personnes pour des raisons professionnelles) [Source : Insee 2008], 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.

Une meilleure connaissance des budgets espace-temps de la population (estimation du temps passé à chaque endroit au cours de la journée) permettrait donc de mieux estimer les niveaux d'exposition réels à la pollution atmosphérique.

D'autre part, cette estimation de l'exposition au niveau de la population ne tient pas compte de la vulnérabilité des personnes sensibles (enfants, personnes âgées, asthmatiques, fragilités cardiovasculaires). L'impact sanitaire a, par conséquent, pu être encore sur ou sous-estimé.

Enfin, l'estimation des expositions, au moyen du réseau de mesure des émissions urbaines, est une autre source d'incertitude lors de la réalisation d'une EIS. Ce niveau dépend en effet de la configuration du réseau de mesure : une implantation différente des capteurs aurait pu conduire à une estimation différente des indicateurs d'exposition.

Des avancées importantes ont néanmoins été réalisées au niveau du réseau de surveillance de la qualité de l'air. Les cartes de modélisation produites par Atmo Auvergne permettent une meilleure compréhension de la distribution géographique de ces émissions urbaines en polluants.

En conclusion, le calcul de l'impact sanitaire s'appuie sur une estimation de l'exposition à la pollution atmosphérique pour l'ensemble de la zone d'étude considérée. En ce sens, elle n'est pas représentative de certaines situations particulières défavorables (proximité de l'habitation ou du lieu de travail avec un axe routier ou une source fixe de pollution, vulnérabilité à la pollution).

4.1.4. Données sanitaires

Concernant les données d'hospitalisation, elles sont disponibles par zone délimitée selon le CP, or 4 communes de la zone d'étude partagent un CP avec des communes hors de la zone d'étude (annexe 8). La méthode utilisée dans l'étude consiste à considérer que les hospitalisations résultent du prorata du nombre d'habitants de la zone d'étude parmi l'ensemble des communes partageant le même CP. Cependant, cette méthode ne tient pas compte des disparités démographiques entre communes. Ainsi, le référencement géographique des cas d'hospitalisation par leur code Insee (et non CP) permettrait d'identifier exactement le nombre de cas dans la zone d'étude.

De plus, bien que les données de mortalité soient standardisées en s'appuyant sur la CIM-10, elles peuvent être imprécises du fait d'erreur de codage. Les données de morbidité s'appuyant sur le PMSI peuvent également être soumises à ces erreurs. Néanmoins, ce biais a été diminué en utilisant de grands regroupements de causes (admissions respiratoires, cardiaques et mortalité totale, toutes causes sauf accidentelles, cardiovasculaires).

Par ailleurs, la sélection des séjours a été faite selon le diagnostic principal du patient et non sur le diagnostic associé qui peut tenir compte d'une co-morbidité (cardiaque et/ou respiratoire) dépendant ou non d'une exposition à la pollution atmosphérique. Ainsi, une sous-estimation de l'impact sanitaire global est possible.

Enfin, une autre limite importante pourrait être levée si l'on disposait d'indicateurs de santé recueillis en population générale, comme par exemple la prévalence de l'asthme en fonction de sa sévérité (8 à 10 % chez l'enfant [18,19,20] et 6 % chez l'adulte [18]) qui permettrait de mesurer l'impact de la pollution atmosphérique sur l'incidence des crises d'asthme et d'élargir ainsi l'étude de l'impact sanitaire à d'autres types d'effets, en plus des admissions hospitalières et des données de mortalité.

4.1.5. Choix des relations exposition-risque

L'EIS repose sur l'application de relations E-R issues de données épidémiologiques nationales ou européennes à des données locales. L'hypothèse retenue est donc que la pollution et la population exposée au niveau local possède les mêmes caractéristiques que celles constatées lors des études épidémiologiques. Cependant, il est probable que des caractéristiques de la pollution ou de la population sur notre zone d'étude diffèrent de celles des études dont les relations sont issues. L'impact sanitaire a par conséquent, pu être sur ou sous-estimé.

Notons tout de même que les relations E-R utilisées pour quantifier l'impact des PM₁₀ sont cohérentes avec celles obtenues par plusieurs études multicentriques européennes, par exemple en France [21], en Espagne [22] et en Italie [23,24]. Quant aux impacts à long terme, la relation estimée par l'American Cohort Society est considérée comme la plus pertinente à ce jour, et présente des résultats cohérents avec ceux trouvés en Europe [25].

4.1.6. Impact sanitaire

Cette EIS a permis de quantifier les effets graves de la pollution atmosphérique qui ont conduit à une hospitalisation ou un décès.

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. Encore une fois, 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) puisque la pollution atmosphérique dans son ensemble constitue le facteur de risque à maîtriser.

4.2. Interprétation des résultats

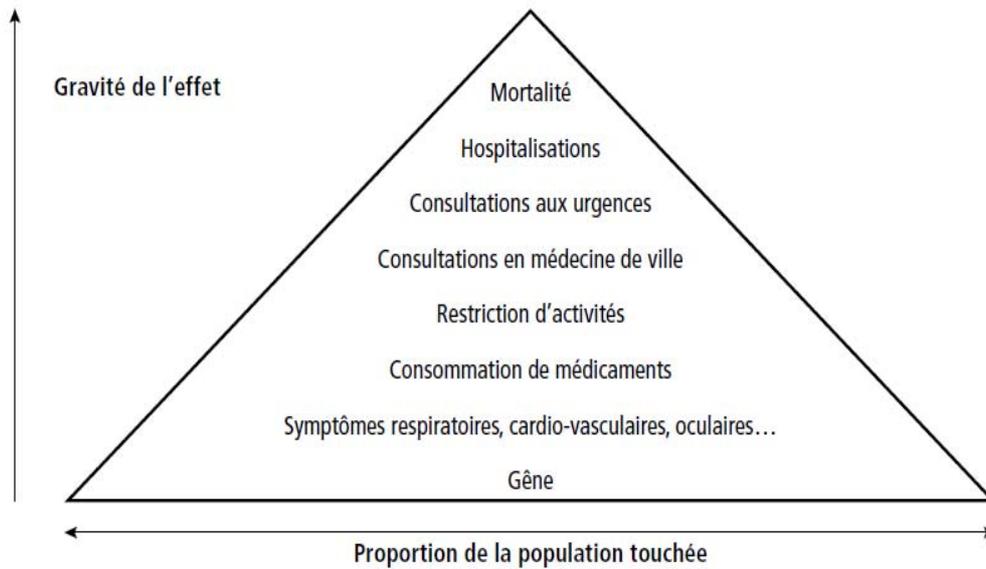
Cette étude reposait sur l'hypothèse essentielle de causalité de la relation entre pollution atmosphérique et santé. Elle ne visait donc pas à redémontrer les effets sanitaires mis en évidence dans les études épidémiologiques consacrées à ce sujet, mais à les quantifier à l'échelle de l'agglomération clermontoise. En effet, la PA a fait l'objet d'une abondante littérature scientifique [3,5,10,26] 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 donnent un ordre de grandeur minimal de l'impact de la PA urbaine sur la santé de la population en ne caractérisant que les événements de santé les plus graves (décès, hospitalisations). Effectivement, ils ne prennent pas en compte ni les passages aux urgences ni les pathologies traitées en médecine ambulatoire (allergies, asthme, irritations oculaires...) qui peuvent être liées à la PA et touchent une part plus importante de la population (figure 8). Ainsi, cette étude montre que l'impact collectif est réel et non négligeable malgré des niveaux de pollution considérés comme faibles. Il s'agit d'une estimation réalisée sur la base des acquis scientifiques et des données disponibles à l'heure actuelle (tableau 7).

Concernant l'impact à long terme, il existe autant de sources d'incertitudes comme la modification potentielle à long terme des caractéristiques liées à la population (effectif, démographie, facteurs personnels de risques de décès, espérance de vie moyenne, etc) et à son environnement (facteurs environnementaux de risques de décès, pollution atmosphérique locale sur un plan qualitatif, etc).

Enfin, notons que ces résultats ne tiennent compte que des concentrations en polluants dans l'air extérieur, or nous passons près de 80 % du temps dans des environnements clos où les niveaux en particules peuvent être plus importants qu'à l'extérieur. À l'inverse, les concentrations en O₃ y sont moins élevées [27].

Figure 8. Pyramide des effets sanitaires de la pollution atmosphérique [16]



5. Conclusion

L'évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine sur l'agglomération clermontoise s'est appuyée sur les relations E-R présentées dans le projet Aphekom [17]. La période d'étude a été définie au regard de la disponibilité des données sanitaires, entre début 2007 et fin 2009. Les résultats de cette étude donnent un ordre de grandeur de l'impact de la PA sur l'agglomération de Clermont-Ferrand et peuvent s'extrapoler aux années les plus récentes (2010-2011), les niveaux de fond en ozone et particules sur lesquels sont basés ces estimations étant relativement stables d'une année sur l'autre.

En revanche, les résultats de cette étude ne peuvent pas être comparés à ceux de l'étude réalisée par la Cire Rhône-Alpes en 2005 [13] car les zones d'étude, les polluants retenus, les méthodes de mesures des particules ainsi que les relations E-R retenues sont différents. En effet, l'EIS réalisée en 2005 portait uniquement sur 4 communes de la zone urbaine de l'agglomération clermontoise et non pas sur les 8 communes retenues pour l'étude actuelle.

Les résultats montrent qu'une diminution de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la moyenne annuelle en PM_{10} , aurait conduit à différer 5 décès et à éviter 14 admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardiaques, tous âges confondus, et ce malgré une qualité de l'air ayant respecté globalement les valeurs guide préconisées par l'OMS. Cette étude prouve une nouvelle fois que la plupart des décès ou hospitalisations attribuables à la pollution surviennent suite à une exposition à des concentrations inférieures à celles pour lesquelles les mesures sont prises actuellement. Quant à l'impact sanitaire à long terme dû aux $\text{PM}_{2,5}$, il a été estimé à 47 décès par an, chez des personnes âgées de plus de 30 ans, qui pourraient être évités si les moyennes annuelles en $\text{PM}_{2,5}$ étaient réduites de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui équivaut à un gain de plus de 4 mois d'espérance de vie à l'âge de 30 ans.

6. Recommandations

En termes de santé publique, ces résultats montrent qu'une action est possible pour améliorer la santé de la population clermontoise, en associant les mesures visant à contrôler les niveaux dépassant les objectifs de qualité et à diminuer de façon importante et quotidienne les niveaux de fond, particulièrement pour les $\text{PM}_{2,5}$, où l'impact sanitaire est le plus important. **Un gain sanitaire conséquent ne pourra être obtenu qu'à condition de parvenir à une amélioration durable de la qualité de l'air tout au long de l'année.** Ainsi les mesures favorisant la réduction des principales sources d'émissions (industrie, secteur résidentiel/tertiaire et transports) sont à privilégier. Pour ces derniers domaines, la mise en place de chauffages propres, l'utilisation des transports en communs, des modes doux (marche à pied, vélo) et les diminutions de vitesse sur certains axes fréquentés peuvent contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air. L'enjeu de santé publique est donc de réduire le risque au sein de la population, résultant d'une exposition chronique même à des niveaux modérés. Sachant qu'il n'existe pas de seuil en dessous duquel la pollution n'a pas d'effet sur la santé, toute baisse de la pollution se traduirait par une diminution des événements sanitaires.

En pratique enfin, 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.

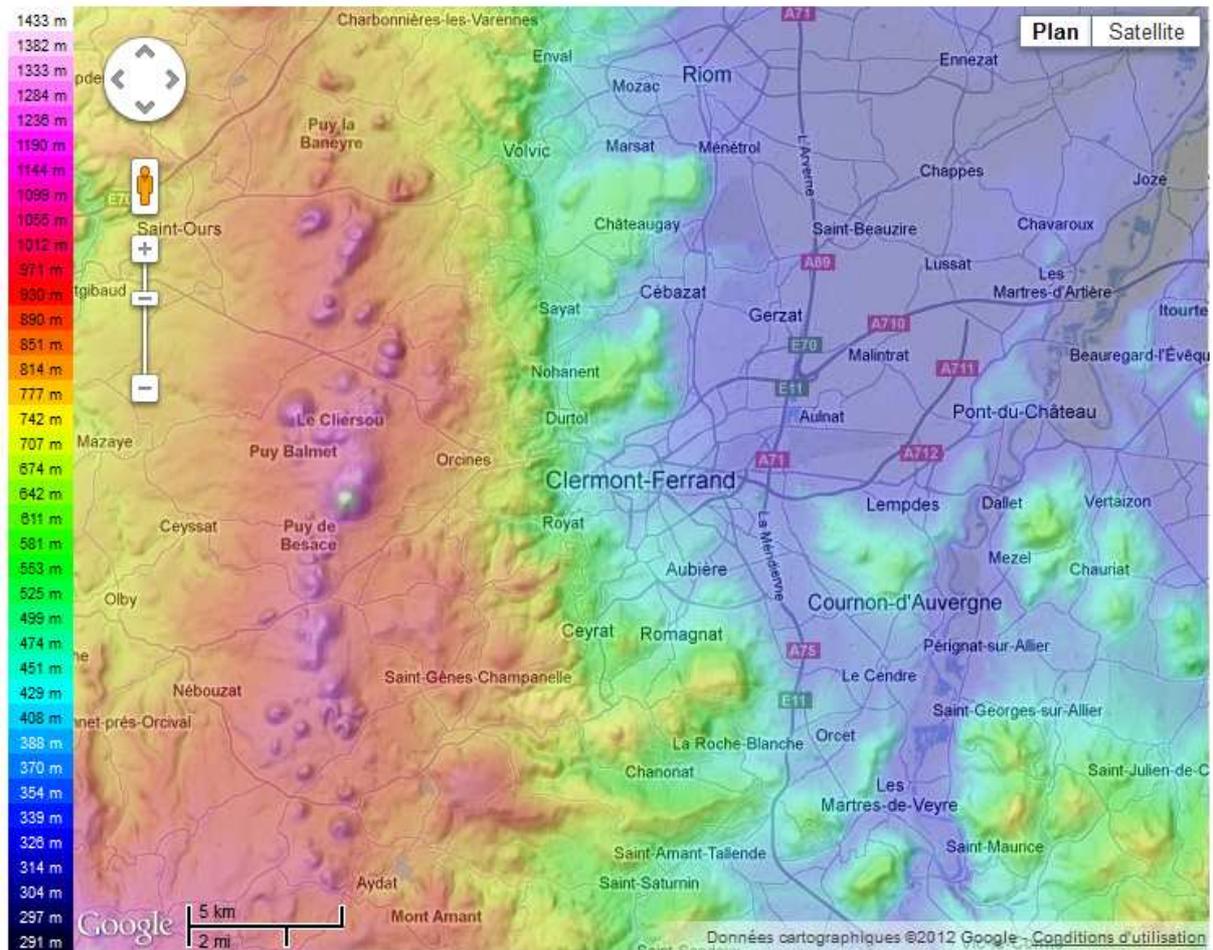
Références bibliographiques

- [1] Ung A, Pascal M, Pascal L, Corso M, Declercq C, Chanel O. Comment réaliser une évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine ? - Guide méthodologique (en cours de publication). 2012. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire.
- [2] Anderson HR, Atkinson R, Peacock J, Marston L, Konstantinou K. Meta-analyses of time series studies of particulate matter (PM) and ozone (O₃). 2004. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- [3] Pope CA, III, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc* 2006 Jun;56(6):709-42.
- [4] World Health Organization. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. 2005. Geneva: WHO.
- [5] Lefranc A, Blanchard M, Borrelli D, Chardon B, Declercq C, Fabre P, *et al.* Relations à court terme entre les niveaux de pollution atmosphérique et les admissions à l'hôpital dans huit villes françaises. 2006. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire.
- [6] Blanchard M, Borrelli D, Chardon B, Chatignoux E., Declercq C, Fabre P, *et al.* Programme de surveillance air et santé. Analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique urbaine et mortalité dans neuf villes françaises. 2008. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire.
- [7] Gryparis A, Forsberg B, Katsouyanni K, Analitis A, Touloumi G, Schwartz J, *et al.* Acute effects of ozone on mortality from the "air pollution and health: a European approach" project. *Am J Respir Crit Care Med* 2004 Nov 15;170(10):1080-7.
- [8] Medina S, Boldo E, Saklad M, Niciu EM, Krzyzanowski M, Frank F, *et al.* APHEIS Health Impact Assessment of Air Pollution and Communication Strategy. 2005. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire.
- [9] Kunzli N, Tager IB. Air pollution: from lung to heart. 10-12-2005. *Swiss Med Wkly*.
- [10] Pope CA, III, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, *et al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002 Mar 6;287(9):1132-41.
- [11] Pope CA, III, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, *et al.* Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation* 2004 Jan 6;109(1):71-7.
- [12] Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) de l'Auvergne. 2012.
- [13] Cire Rhône-Alpes. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Clermont-Ferrand. 2005. Saint-Maurice (Fra): Institut de veille sanitaire.

- [14] Pascal M, Corso M, Ung A, Declercq C, Medina S. Guidelines for assessing the health impacts of air pollution in European cities - Deliverable D5. 2011. Paris: Aphekom.
- [15] Quénel P, Cassadou S, Declercq C, Eilstein D, Filleul L, Le Goaster C, *et al.* Surveillance des effets sur la santé de la pollution atmosphérique en milieu urbain. 1999. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire.
- [16] Blanchard M, Borrelli D, Chardon B, Declercq C, Fabre P, Host S, *et al.* Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Concepts et méthodes. 2008. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire.
- [17] Medina S. Aphekom (Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe). Summary report of the Aphekom project 2008-2011. 2011. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire.
- [18] Delmas MC, Leynaert B, Com-Ruelle L, Annesi-Maesano I, Fuhrman C. Asthme : prévalence et impact sur la vie quotidienne - Analyse des données de l'enquête décennale santé 2003 de l'Insee. 2008. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire.
- [19] Delmas MC, Fuhrman C. Asthma in France: a review of descriptive epidemiological data. *Rev Mal Respir* 2010 Feb;27(2):151-9.
- [20] Delmas MC, Guignon N, Leynaert B, Com-Ruelle L, Annesi-Maesano I, Herbet JB, *et al.* Prevalence of asthma among children in France. *Arch Pediatr* 2009 Sep;16(9):1261-9.
- [21] Larrieu S, Jusot JF, Blanchard M, Prouvost H, Declercq C, Fabre P, *et al.* Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities: the PSAS program. *Sci Total Environ* 2007 Nov 15;387(1-3):105-12.
- [22] Ballester F, Rodriguez P, Iniguez C, Saez M, Daponte A, Galan I, *et al.* Air pollution and cardiovascular admissions association in Spain: results within the EMECAS project. *J Epidemiol Community Health* 2006 Apr;60(4):328-36.
- [23] Colais P, Serinelli M, Faustini A, Stafoggia M, Randi G, Tessari R, *et al.* Air pollution and urgent hospital admissions in nine Italian cities. Results of the EpiAir Project. *Epidemiol Prev* 2009 Nov;33(6 Suppl 1):77-94.
- [24] Stafoggia M, Faustini A, Rognoni M, Tessari R, Cadum E, Pacelli B, *et al.* Air pollution and mortality in ten Italian cities. Results of the EpiAir Project. *Epidemiol Prev* 2009 Nov;33(6 Suppl 1):65-76.
- [25] Beelen R, Hoek G, van den Brandt PA, Goldbohm RA, Fischer P, Schouten LJ, *et al.* Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). *Environ Health Perspect* 2008 Feb;116(2):196-202.
- [26] Jerrett M, Burnett RT, Ma R, Pope CA, III, Krewski D, Newbold KB, *et al.* Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology* 2005 Nov;16(6):727-36.
- [27] Kirchner S, Mandin C, Derbez M, Ramalho O. Qualité de l'air intérieur, qualité de vie. 10 ans de recherche pour mieux respirer. 2011. CSTB.

Annexe 1 : Carte topographique de l'agglomération clermontoise

(Source : Cartes-topographiques.fr)



Annexe 2 : Rose des vents

(Source : Météo France)



METEO FRANCE

ROSE DES VENTS

Vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 10 mn

Du 01 JANVIER 1971 au 31 DÉCEMBRE 2000

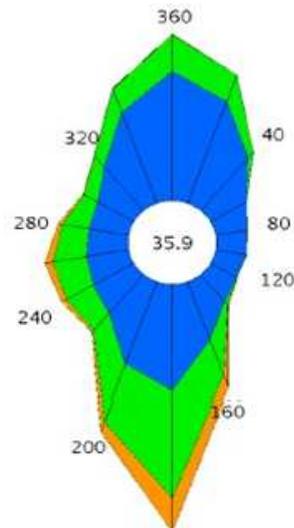
CLERMONT-FD (63)

Indicatif : 63113001, alt : 331 m., lat : 45°47'12"N, lon : 03°08'54"E

Fréquence des vents en fonction de leur provenance en %

Valeurs trihoraires entre 0h00 et 2h00, heure UTC

Tableau de répartition
Nombre de cas étudiés : 87628
Manquants : 36

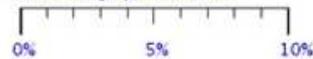


| Dir. | [1.5;4.5] | [4.5;8.0] | > 8.0 m/s | Total |
|---------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 20 | 4.3 | 1.1 | + | 5.4 |
| 40 | 2.8 | 0.3 | + | 3.1 |
| 60 | 1.5 | + | + | 1.6 |
| 80 | 1.2 | + | 0.0 | 1.2 |
| 100 | 1.1 | + | + | 1.2 |
| 120 | 1.1 | + | + | 1.1 |
| 140 | 1.4 | 0.2 | + | 1.6 |
| 160 | 2.5 | 1.5 | 0.5 | 4.4 |
| 180 | 4.2 | 4.1 | 1.3 | 9.7 |
| 200 | 3.5 | 2.3 | 0.4 | 6.2 |
| 220 | 2.0 | 0.9 | 0.1 | 3.0 |
| 240 | 1.8 | 1.1 | 0.2 | 3.1 |
| 260 | 1.6 | 1.3 | 0.5 | 3.2 |
| 280 | 1.5 | 1.0 | 0.2 | 2.7 |
| 300 | 1.6 | 0.6 | + | 2.2 |
| 320 | 2.3 | 0.6 | + | 2.9 |
| 340 | 3.9 | 1.0 | + | 4.9 |
| 360 | 5.2 | 1.4 | + | 6.7 |
| Total | 43.4 | 17.5 | 3.2 | 64.1 |
| [0;1.5] | | | | 35.9 |

Groupes de vitesses (m/s)



Pourcentage par direction



Dir. : Direction d'où vient le vent en rose de 360° - 90° = Est, 180° = Sud, 270° = Ouest, 360° = Nord
le signe + indique une fréquence non nulle mais inférieure à 0.1%

Page 1 / 1

Edité le : 06/03/2012 dans l'état de la base

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Centre départemental du Puy-de-Dôme
Aéroport de Clermont Ferrand Auvergne 63510 AULNAT
Tél. : 04 73 28 61 46 - Fax : 04 73 92 32 87 - Email : cdm63@meteo.fr

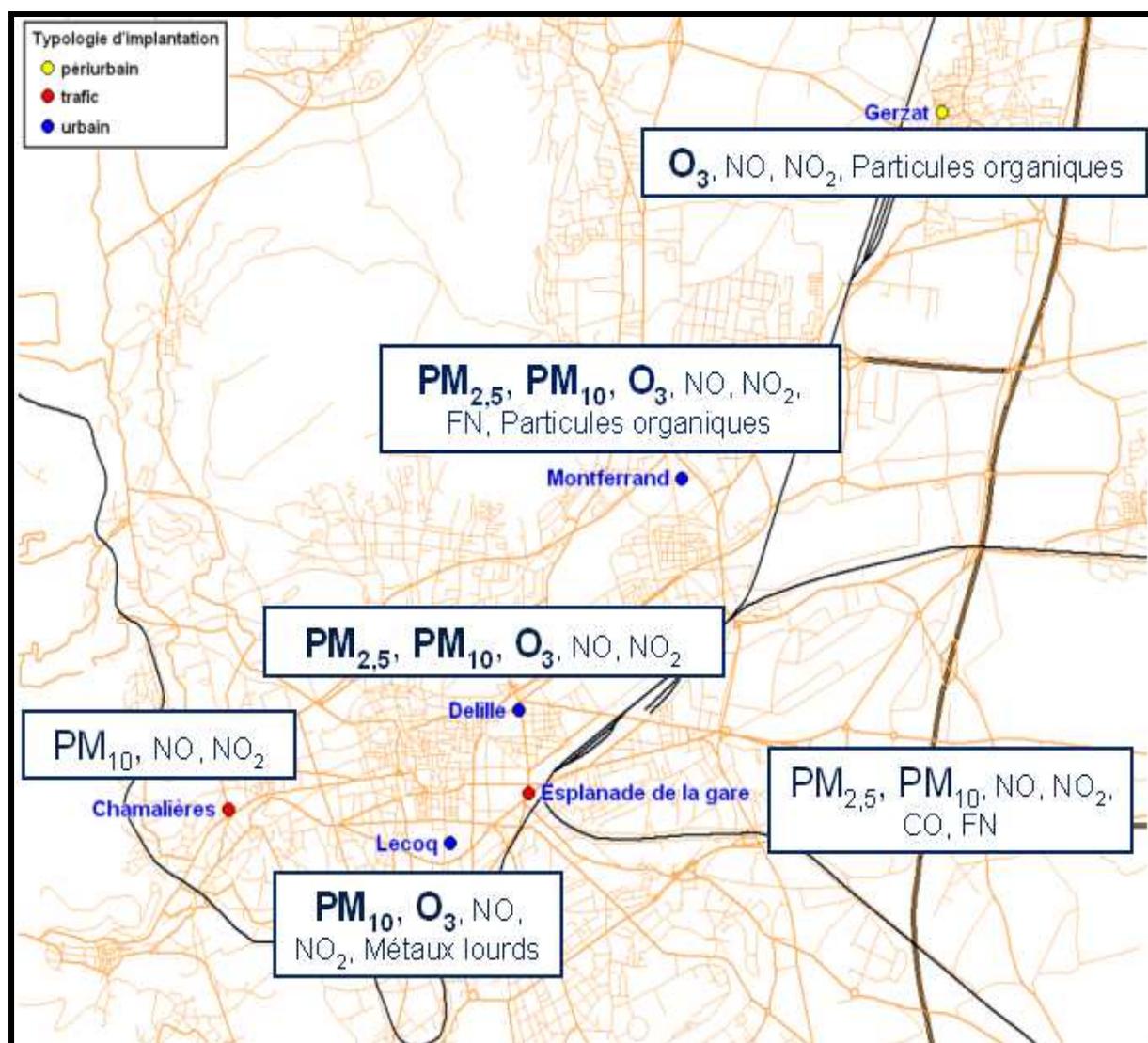
Annexe 3 : Répartition de la population de la zone d'étude par classes d'âge

(Source : Insee 2008)

| Communes | Classes d'âges | | | | | | Total |
|------------------------|----------------|------|-----------|------|-------------|------|---------|
| | 0-14 ans | % | 15-64 ans | % | 65 ans et + | % | |
| Aubière | 1 093 | 10,9 | 7 240 | 72,6 | 1 644 | 16,5 | 9 977 |
| Aulnat | 732 | 17,1 | 2 842 | 66,5 | 698 | 16,4 | 4 272 |
| Beaumont | 1 539 | 14,1 | 7 484 | 68,3 | 1 930 | 17,6 | 10 953 |
| Le Cendre | 692 | 15,0 | 3 067 | 66,5 | 852 | 18,5 | 4 611 |
| Chamalières | 1 932 | 11,3 | 11 185 | 65,2 | 4 031 | 23,5 | 17 148 |
| Clermont- Ferrand | 18 531 | 13,3 | 99 856 | 71,8 | 20 619 | 14,8 | 139 006 |
| Cournon- d'Auvergne | 3 041 | 15,9 | 12 712 | 66,5 | 3 371 | 17,6 | 19 124 |
| Lempdes | 1 300 | 15,6 | 5 591 | 67,3 | 1 421 | 17,1 | 8 312 |
| Total | 28 860 | 15,0 | 149 977 | 66,8 | 34 566 | 18,2 | 213 403 |

Annexe 4 : Implantation des stations de mesures

(Source : Atmo Auvergne)



* Compte tenu de la méthodologie utilisée pour le calcul des indicateurs d'exposition, les stations trafic (Chamalières et Esplanade de la gare) n'ont pas été retenues.

Annexe 5 : Comparaison des niveaux moyens de pollution entre les périodes 2007-2009 (actuelle EIS) et 1999-2000 (EIS, 2005)

Niveaux moyens de pollution (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur l'agglomération clermontoise pour les années 2007-2009 [Source : Atmo Auvergne]

| Polluants (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Delille | Jardin Lecoq | Montferrand | Gerzat | Chamalières | Esplanade de la gare | Valeurs guides OMS 2000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|---------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------|-------------|----------------------|------------------------------------------------------|
| PM_{2,5} (moyenne 24h annuelle) | 13,3 | NM | 15,3 | NM | NM | 15,6 | 10,0 |
| PM₁₀ (moyenne 24h annuelle) | 18,0 | 20,0 | 19,5 | NM | NM | 23,5 | 20,0 |
| O₃ (moyenne 8h estivale) | 84,3 | 84,8 | 89,3 | 86,4 | NM | NM | NC |
| O₃ (moyenne 8h maximale) | 67,8 | 68,6 | 71,8 | 70,9 | NM | NM | 100,0 |
| NO₂ (moyenne 24h annuelle) | 27,8 | 25,3 | 26,8 | 24,5 | 36,7 | 49,6 | 40,0 |

NC : Non communiqué

NM : Non mesuré

Niveaux moyens de pollution (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur l'agglomération clermontoise pour l'année 1999-2000 [Source : Atmo Auvergne]

| Polluants (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Delille | Jardin Lecoq | Montferrand | Gerzat | Chamalières | Esplanade de la gare | Valeurs guides OMS 2000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-------------------------------------------------|------------|--------------|-------------|-----------|-------------|----------------------|------------------------------------------------------|
| O₃ (moyenne 8h estivale) | 85 | | 89 | - | | | - |
| O₃ (moyenne 8h maximale) | 146 | | 149 | - | | | 100 |
| NO₂ (moyenne 24h annuelle) | 33 | | 31 | 57 | | | 40 |

Annexe 6 : Distribution des émissions polluantes urbaines

(Source : Atmo Auvergne)

Distribution des concentrations en PM_{2,5} par station (µg/m³), en 2007

| Station | Delille | Montferrand |
|----------------------|---------|-------------|
| Année | | |
| Minimum | 2 | 2 |
| Percentile 5 | 5 | 5 |
| Percentile 25 | 7 | 8 |
| Médiane | 12 | 13 |
| Percentile 75 | 19 | 20 |
| Percentile 95 | 39 | 43 |
| Maximum | 83 | 92 |
| Moyenne | 15,3 | 17,0 |
| Ecart-type | 11,9 | 13,4 |
| % valeurs manquantes | 3 % | 1 % |
| Hiver | | |
| Minimum | 2 | 2 |
| Percentile 5 | 5 | 5 |
| Percentile 25 | 8 | 8 |
| Médiane | 14 | 16 |
| Percentile 75 | 23 | 27 |
| Percentile 95 | 40 | 47 |
| Maximum | 83 | 92 |
| Moyenne | 17,9 | 20,0 |
| Ecart-type | 13,7 | 15,7 |
| % valeurs manquantes | 4 % | 2 % |
| Été | | |
| Minimum | 3 | 3 |
| Percentile 5 | 5 | 5 |
| Percentile 25 | 7 | 8 |
| Médiane | 10 | 11 |
| Percentile 75 | 14 | 16 |
| Percentile 95 | 34 | 37 |
| Maximum | 59 | 61 |
| Moyenne | 12,8 | 14,1 |
| Ecart-type | 9,2 | 9,7 |
| % valeurs manquantes | 2 % | 1 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les PM_{2,5}, en 2007

| Station | Delille | Montferrand |
|--------------------|---------|-------------|
| Delille | 1,000 | |
| Montferrand | 0,987 | 1,000 |

Distribution des concentrations en PM₁₀ par station (µg/m³), en 2007

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand |
|----------------------|---------|-------|-------------|
| Année | | | |
| Minimum | 3 | 4 | 2 |
| Percentile 5 | 7 | 7 | 7 |
| Percentile 25 | 12 | 12 | 12 |
| Médiane | 16 | 18 | 19 |
| Percentile 75 | 25 | 28 | 29 |
| Percentile 95 | 44 | 47 | 51 |
| Maximum | 94 | 96 | 114 |
| Moyenne | 20,2 | 21,9 | 22,4 |
| Ecart-type | 13,5 | 13,9 | 15,6 |
| % valeurs manquantes | 1 % | 2 % | 4 % |
| Hiver | | | |
| Minimum | 3 | 4 | 3 |
| Percentile 5 | 7 | 7 | 6 |
| Percentile 25 | 12 | 13 | 14 |
| Médiane | 20 | 21 | 22 |
| Percentile 75 | 29 | 31 | 33 |
| Percentile 95 | 45 | 47 | 57 |
| Maximum | 94 | 96 | 114 |
| Moyenne | 22,7 | 24,3 | 25,5 |
| Ecart-type | 15,3 | 15,8 | 18,3 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 2 % | 6 % |
| Été | | | |
| Minimum | 4 | 5 | 2 |
| Percentile 5 | 7 | 8 | 7 |
| Percentile 25 | 11 | 12 | 11 |
| Médiane | 15 | 17 | 17 |
| Percentile 75 | 21 | 23 | 23 |
| Percentile 95 | 43 | 44 | 47 |
| Maximum | 63 | 67 | 65 |
| Moyenne | 17,7 | 19,6 | 19,4 |
| Ecart-type | 10,8 | 11,3 | 11,7 |
| % valeurs manquantes | 1 % | 2 % | 2 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les PM₁₀, en 2007

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand |
|--------------------|---------|-------|-------------|
| Delille | 1,000 | | |
| Lecoq | 0,982 | 1,000 | |
| Montferrand | 0,980 | 0,979 | 1,000 |

Distribution des concentrations en O₃ par station (µg/m³), en 2007

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand | Gerzat |
|----------------------|---------|-------|-------------|--------|
| Année | | | | |
| Minimum | 1 | 3 | 3 | 8 |
| Percentile 5 | 18 | 19 | 17 | 25 |
| Percentile 25 | 50 | 51 | 51 | 56 |
| Médiane | 68 | 67 | 69 | 71 |
| Percentile 75 | 84 | 86 | 90 | 87 |
| Percentile 95 | 111 | 111 | 115 | 110 |
| Maximum | 132 | 131 | 133 | 134 |
| Moyenne | 66,5 | 67,5 | 68,5 | 70,0 |
| Ecart-type | 26,6 | 26,6 | 28,8 | 25,1 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Hiver | | | | |
| Minimum | 1 | 3 | 3 | 8 |
| Percentile 5 | 10 | 14 | 10 | 16 |
| Percentile 25 | 35 | 35 | 31 | 38 |
| Médiane | 53 | 54 | 54 | 60 |
| Percentile 75 | 67 | 67 | 66 | 72 |
| Percentile 95 | 83 | 84 | 90 | 88 |
| Maximum | 96 | 99 | 107 | 98 |
| Moyenne | 50,0 | 51,1 | 50,8 | 56,1 |
| Ecart-type | 22,0 | 21,5 | 24,3 | 22,6 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Été | | | | |
| Minimum | 43 | 40 | 37 | 43 |
| Percentile 5 | 53 | 52 | 51 | 56 |
| Percentile 25 | 68 | 67 | 70 | 69 |
| Médiane | 81 | 83 | 87 | 83 |
| Percentile 75 | 98 | 99 | 103 | 98 |
| Percentile 95 | 119 | 118 | 120 | 118 |
| Maximum | 132 | 131 | 133 | 134 |
| Moyenne | 82,9 | 83,9 | 86,0 | 83,9 |
| Ecart-type | 19,6 | 20,3 | 21,2 | 19,1 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les O₃, en 2007

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand | Gerzat |
|--------------------|---------|-------|-------------|--------|
| Delille | 1,000 | | | |
| Lecoq | 0,976 | 1,000 | | |
| Montferrand | 0,957 | 0,973 | 1,000 | |
| Gerzat | 0,970 | 0,960 | 0,958 | 1,000 |

Distribution des concentrations en PM_{2,5} par station (µg/m³), en 2008

| Station | Delille | Montferrand |
|----------------------|---------|-------------|
| Année | | |
| Minimum | 3 | 3 |
| Percentile 5 | 5 | 5 |
| Percentile 25 | 7 | 8 |
| Médiane | 9 | 11 |
| Percentile 75 | 13 | 16 |
| Percentile 95 | 31 | 35 |
| Maximum | 59 | 64 |
| Moyenne | 11,5 | 13,5 |
| Ecart-type | 8,1 | 9,3 |
| % valeurs manquantes | 2 % | 2 % |
| Hiver | | |
| Minimum | 3 | 3 |
| Percentile 5 | 4 | 4 |
| Percentile 25 | 7 | 8 |
| Médiane | 10 | 12 |
| Percentile 75 | 18 | 22 |
| Percentile 95 | 36 | 42 |
| Maximum | 59 | 64 |
| Moyenne | 13,7 | 16,4 |
| Ecart-type | 10,6 | 12,0 |
| % valeurs manquantes | 3 % | 2 % |
| Été | | |
| Minimum | 4 | 5 |
| Percentile 5 | 5 | 6 |
| Percentile 25 | 7 | 8 |
| Médiane | 9 | 10 |
| Percentile 75 | 11 | 13 |
| Percentile 95 | 14 | 17 |
| Maximum | 22 | 24 |
| Moyenne | 9,3 | 10,6 |
| Ecart-type | 3,1 | 3,7 |
| % valeurs manquantes | 1 % | 2 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les PM_{2,5}, en 2008

| Station | Delille | Montferrand |
|--------------------|---------|-------------|
| Delille | 1,000 | |
| Montferrand | 0,985 | 1,000 |

Distribution des concentrations en PM₁₀ par station (µg/m³), en 2008

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand |
|----------------------|---------|-------|-------------|
| Année | | | |
| Minimum | 3 | 4 | 3 |
| Percentile 5 | 6 | 7 | 6 |
| Percentile 25 | 9 | 11 | 10 |
| Médiane | 14 | 16 | 15 |
| Percentile 75 | 19 | 23 | 21 |
| Percentile 95 | 38 | 43 | 44 |
| Maximum | 70 | 76 | 77 |
| Moyenne | 16,0 | 18,9 | 17,8 |
| Ecart-type | 10,1 | 11,1 | 11,8 |
| % valeurs manquantes | 1 % | 1 % | 0 % |
| Hiver | | | |
| Minimum | 3 | 4 | 3 |
| Percentile 5 | 5 | 7 | 5 |
| Percentile 25 | 8 | 10 | 10 |
| Médiane | 13 | 16 | 16 |
| Percentile 75 | 24 | 26 | 29 |
| Percentile 95 | 48 | 52 | 53 |
| Maximum | 70 | 76 | 77 |
| Moyenne | 18,0 | 20,6 | 21,1 |
| Ecart-type | 13,3 | 14,2 | 15,1 |
| % valeurs manquantes | 2 % | 0 % | 1 % |
| Été | | | |
| Minimum | 6 | 7 | 4 |
| Percentile 5 | 8 | 8 | 7 |
| Percentile 25 | 10 | 12 | 10 |
| Médiane | 14 | 17 | 14 |
| Percentile 75 | 17 | 23 | 18 |
| Percentile 95 | 22 | 27 | 24 |
| Maximum | 27 | 32 | 31 |
| Moyenne | 14,1 | 17,0 | 14,6 |
| Ecart-type | 4,7 | 6,3 | 5,5 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 2 % | 0 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les PM₁₀, en 2008

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand |
|--------------------|---------|-------|-------------|
| Delille | 1,000 | | |
| Lecoq | 0,979 | 1,000 | |
| Montferrand | 0,969 | 0,952 | 1,000 |

Distribution des concentrations en O₃ par station (µg/m³), en 2008

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand | Gerzat |
|----------------------|---------|-------|-------------|--------|
| Année | | | | |
| Minimum | 4 | 1 | 5 | 4 |
| Percentile 5 | 18 | 18 | 23 | 22 |
| Percentile 25 | 51 | 51 | 55 | 50 |
| Médiane | 70 | 71 | 74 | 70 |
| Percentile 75 | 85 | 87 | 90 | 85 |
| Percentile 95 | 105 | 108 | 112 | 106 |
| Maximum | 126 | 131 | 135 | 125 |
| Moyenne | 67,0 | 68,3 | 71,8 | 67,5 |
| Ecart-type | 25,6 | 26,7 | 27,2 | 25,5 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Hiver | | | | |
| Minimum | 4 | 1 | 5 | 4 |
| Percentile 5 | 10 | 12 | 13 | 10 |
| Percentile 25 | 36 | 36 | 38 | 36 |
| Médiane | 51 | 52 | 56 | 54 |
| Percentile 75 | 67 | 71 | 70 | 70 |
| Percentile 95 | 83 | 89 | 88 | 86 |
| Maximum | 95 | 100 | 99 | 98 |
| Moyenne | 50,6 | 52,5 | 54,3 | 52,2 |
| Ecart-type | 22,0 | 23,7 | 22,8 | 22,9 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Été | | | | |
| Minimum | 34 | 37 | 42 | 34 |
| Percentile 5 | 56 | 54 | 61 | 55 |
| Percentile 25 | 71 | 72 | 76 | 70 |
| Médiane | 82 | 84 | 89 | 82 |
| Percentile 75 | 96 | 98 | 102 | 95 |
| Percentile 95 | 111 | 114 | 120 | 113 |
| Maximum | 126 | 131 | 135 | 125 |
| Moyenne | 83,5 | 84,3 | 89,2 | 82,7 |
| Ecart-type | 16,9 | 19,0 | 18,8 | 17,7 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 1 % | 0 % | 0 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les O₃, en 2008

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand | Gerzat |
|--------------------|---------|-------|-------------|--------|
| Delille | 1,000 | | | |
| Lecoq | 0,979 | 1,000 | | |
| Montferrand | 0,978 | 0,978 | 1,000 | |
| Gerzat | 0,969 | 0,958 | 0,965 | 1,000 |

Distribution des concentrations en PM_{2,5} par station (µg/m³), en 2009

| Station | Delille | Montferrand |
|----------------------|---------|-------------|
| Année | | |
| Minimum | 2 | 3 |
| Percentile 5 | 4 | 6 |
| Percentile 25 | 7 | 9 |
| Médiane | 10 | 12 |
| Percentile 75 | 16 | 17 |
| Percentile 95 | 32 | 36 |
| Maximum | 76 | 99 |
| Moyenne | 13,0 | 15,2 |
| Ecart-type | 9,4 | 11,4 |
| % valeurs manquantes | 2 % | 4 % |
| Hiver | | |
| Minimum | 2 | 3 |
| Percentile 5 | 4 | 5 |
| Percentile 25 | 7 | 9 |
| Médiane | 12 | 13 |
| Percentile 75 | 19 | 23 |
| Percentile 95 | 39 | 46 |
| Maximum | 76 | 99 |
| Moyenne | 15,2 | 17,9 |
| Ecart-type | 11,2 | 14,2 |
| % valeurs manquantes | 1 % | 4 % |
| Eté | | |
| Minimum | 2 | 3 |
| Percentile 5 | 4 | 6 |
| Percentile 25 | 7 | 9 |
| Médiane | 9 | 11 |
| Percentile 75 | 12 | 15 |
| Percentile 95 | 24 | 26 |
| Maximum | 40 | 42 |
| Moyenne | 10,9 | 12,5 |
| Ecart-type | 6,4 | 6,6 |
| % valeurs manquantes | 2 % | 3 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les PM_{2,5}, en 2009

| Station | Delille | Montferrand |
|--------------------|---------|-------------|
| Delille | 1,000 | |
| Montferrand | 0,977 | 1,000 |

Distribution des concentrations en PM₁₀ par station (µg/m³), en 2009

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand |
|----------------------|---------|-------|-------------|
| Année | | | |
| Minimum | 4 | 5 | 4 |
| Percentile 5 | 7 | 7 | 6 |
| Percentile 25 | 11 | 12 | 11 |
| Médiane | 15 | 16 | 15 |
| Percentile 75 | 22 | 23 | 22 |
| Percentile 95 | 39 | 41 | 41 |
| Maximum | 82 | 83 | 104 |
| Moyenne | 17,7 | 19,2 | 18,3 |
| Ecart-type | 10,4 | 11,0 | 12,9 |
| % valeurs manquantes | 4 % | 2 % | 4 % |
| Hiver | | | |
| Minimum | 4 | 6 | 4 |
| Percentile 5 | 7 | 7 | 6 |
| Percentile 25 | 11 | 11 | 12 |
| Médiane | 16 | 18 | 17 |
| Percentile 75 | 24 | 26 | 27 |
| Percentile 95 | 44 | 46 | 48 |
| Maximum | 82 | 83 | 104 |
| Moyenne | 19,2 | 20,9 | 21,7 |
| Ecart-type | 12,5 | 13,0 | 16,2 |
| % valeurs manquantes | 1 % | 0 % | 4 % |
| Été | | | |
| Minimum | 5 | 5 | 4 |
| Percentile 5 | 7 | 8 | 6 |
| Percentile 25 | 11 | 12 | 10 |
| Médiane | 14 | 16 | 14 |
| Percentile 75 | 19 | 20 | 18 |
| Percentile 95 | 30 | 33 | 29 |
| Maximum | 41 | 49 | 48 |
| Moyenne | 16,1 | 17,5 | 15,0 |
| Ecart-type | 7,4 | 8,0 | 7,3 |
| % valeurs manquantes | 7 % | 3 % | 4 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les PM₁₀, en 2009

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand |
|--------------------|---------|-------|-------------|
| Delille | 1,000 | | |
| Lecoq | 0,979 | 1,000 | |
| Montferrand | 0,962 | 0,952 | 1,000 |

Distribution des concentrations en O₃ par station (µg/m³), en 2009

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand | Gerzat |
|----------------------|---------|-------|-------------|--------|
| Année | | | | |
| Minimum | 4 | 3 | 11 | 8 |
| Percentile 5 | 25 | 25 | 30 | 29 |
| Percentile 25 | 55 | 55 | 59 | 58 |
| Médiane | 72 | 73 | 77 | 77 |
| Percentile 75 | 87 | 87 | 93 | 94 |
| Percentile 95 | 108 | 106 | 114 | 116 |
| Maximum | 133 | 134 | 143 | 140 |
| Moyenne | 70,0 | 69,9 | 75,1 | 75,4 |
| Ecart-type | 25,6 | 25,1 | 25,9 | 26,2 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Hiver | | | | |
| Minimum | 4 | 3 | 11 | 8 |
| Percentile 5 | 14 | 14 | 20 | 23 |
| Percentile 25 | 38 | 38 | 42 | 43 |
| Médiane | 56 | 55 | 60 | 60 |
| Percentile 75 | 69 | 71 | 74 | 74 |
| Percentile 95 | 85 | 84 | 88 | 88 |
| Maximum | 103 | 98 | 105 | 105 |
| Moyenne | 53,6 | 53,7 | 57,8 | 57,7 |
| Ecart-type | 21,8 | 21,3 | 20,8 | 20,7 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 0 % | 0 % | 2 % |
| Été | | | | |
| Minimum | 39 | 42 | 38 | 40 |
| Percentile 5 | 59 | 60 | 66 | 66 |
| Percentile 25 | 74 | 75 | 81 | 80 |
| Médiane | 87 | 85 | 92 | 93 |
| Percentile 75 | 98 | 97 | 104 | 105 |
| Percentile 95 | 114 | 116 | 122 | 124 |
| Maximum | 133 | 134 | 143 | 140 |
| Moyenne | 86,4 | 86,1 | 92,6 | 92,6 |
| Ecart-type | 17,2 | 16,9 | 17,4 | 18,5 |
| % valeurs manquantes | 1 % | 0 % | 1 % | 0 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les O₃, en 2009

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand | Gerzat |
|--------------------|---------|-------|-------------|--------|
| Delille | 1,000 | | | |
| Lecoq | 0,912 | 1,000 | | |
| Montferrand | 0,942 | 0,938 | 1,000 | |
| Gerzat | 0,882 | 0,911 | 0,959 | 1,000 |

Distribution des concentrations en PM_{2,5} par station (µg/m³), pour les 3 années

| Station | Delille | Montferrand |
|----------------------|---------|-------------|
| Années | | |
| Minimum | 2 | 2 |
| Percentile 5 | 4 | 5 |
| Percentile 25 | 7 | 8 |
| Médiane | 10 | 12 |
| Percentile 75 | 15 | 18 |
| Percentile 95 | 34 | 39 |
| Maximum | 83 | 99 |
| Moyenne | 13,3 | 15,3 |
| Ecart-type | 10,0 | 11,6 |
| % valeurs manquantes | 2 % | 2 % |
| Hivers | | |
| Minimum | 2 | 2 |
| Percentile 5 | 4 | 5 |
| Percentile 25 | 7 | 8 |
| Médiane | 12 | 14 |
| Percentile 75 | 20 | 23 |
| Percentile 95 | 39 | 44 |
| Maximum | 83 | 99 |
| Moyenne | 15,6 | 18,1 |
| Ecart-type | 12,0 | 14,1 |
| % valeurs manquantes | 3 % | 3 % |
| Étés | | |
| Minimum | 2 | 3 |
| Percentile 5 | 5 | 6 |
| Percentile 25 | 7 | 8 |
| Médiane | 9 | 11 |
| Percentile 75 | 12 | 15 |
| Percentile 95 | 24 | 26 |
| Maximum | 59 | 61 |
| Moyenne | 11,0 | 12,4 |
| Ecart-type | 6,8 | 7,2 |
| % valeurs manquantes | 2 % | 2 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les PM_{2,5}, pour les 3 années

| Station | Delille | Montferrand |
|--------------------|---------|-------------|
| Delille | 1,000 | |
| Montferrand | 0,983 | 1,000 |

Distribution des concentrations en PM₁₀ par station (µg/m³), pour les 3 années

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand |
|----------------------|---------|-------|-------------|
| Années | | | |
| Minimum | 3 | 4 | 2 |
| Percentile 5 | 7 | 7 | 6 |
| Percentile 25 | 11 | 12 | 11 |
| Médiane | 15 | 17 | 16 |
| Percentile 75 | 22 | 24 | 23 |
| Percentile 95 | 41 | 44 | 46 |
| Maximum | 94 | 96 | 114 |
| Moyenne | 18,0 | 20,0 | 19,5 |
| Ecart-type | 11,6 | 12,1 | 13,7 |
| % valeurs manquantes | 2 % | 1 % | 3 % |
| Hivers | | | |
| Minimum | 3 | 4 | 3 |
| Percentile 5 | 6 | 7 | 6 |
| Percentile 25 | 10 | 12 | 12 |
| Médiane | 16 | 18 | 18 |
| Percentile 75 | 25 | 28 | 29 |
| Percentile 95 | 46 | 50 | 54 |
| Maximum | 94 | 96 | 114 |
| Moyenne | 20,0 | 21,9 | 22,7 |
| Ecart-type | 13,9 | 14,4 | 16,6 |
| % valeurs manquantes | 1 % | 1 % | 3 % |
| Étés | | | |
| Minimum | 4 | 5 | 2 |
| Percentile 5 | 7 | 8 | 6 |
| Percentile 25 | 11 | 12 | 11 |
| Médiane | 14 | 17 | 15 |
| Percentile 75 | 19 | 22 | 20 |
| Percentile 95 | 30 | 33 | 31 |
| Maximum | 63 | 67 | 65 |
| Moyenne | 15,9 | 18,0 | 16,3 |
| Ecart-type | 8,2 | 8,8 | 8,8 |
| % valeurs manquantes | 3 % | 2 % | 2 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les PM₁₀, pour les 3 années

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand |
|--------------------|---------|-------|-------------|
| Delille | 1,000 | | |
| Lecoq | 0,979 | 1,000 | |
| Montferrand | 0,971 | 0,963 | 1,000 |

Distribution des concentrations en O₃ par station (µg/m³), pour les 3 années

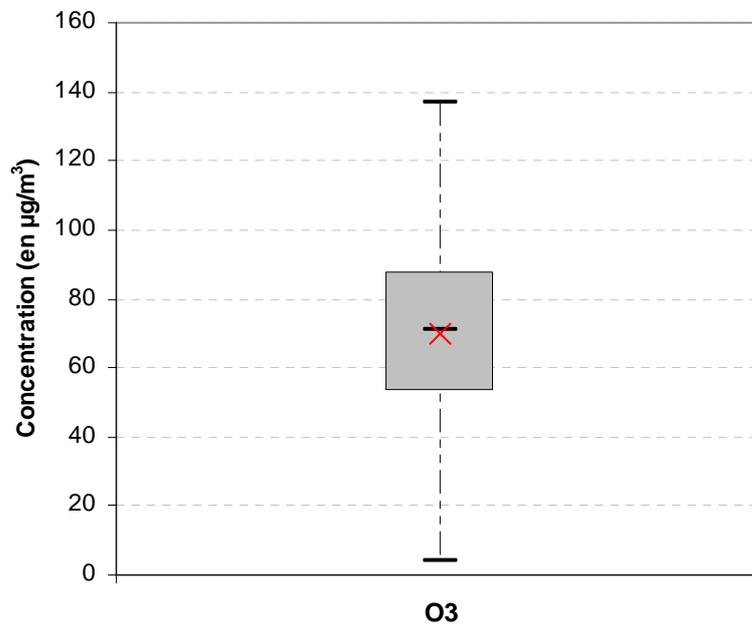
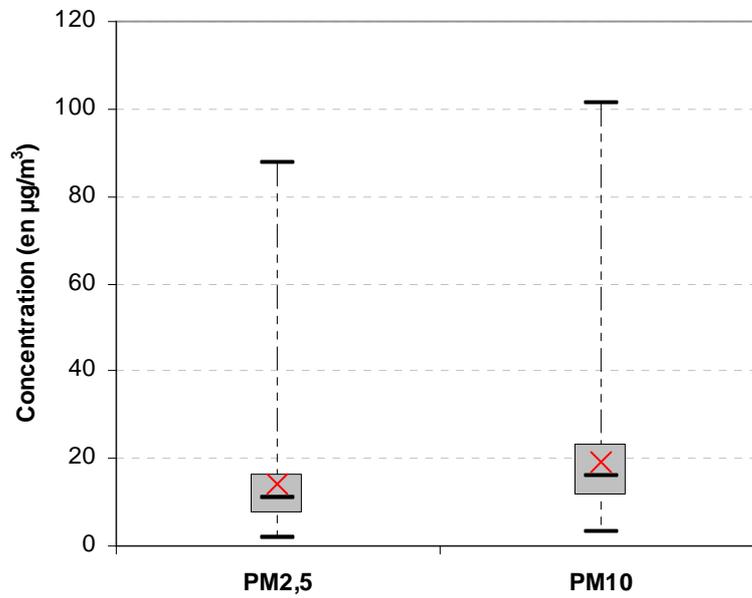
| Station | Delille | Lecoq | Montferrand | Gerzat |
|----------------------|---------|-------|-------------|--------|
| Années | | | | |
| Minimum | 1 | 1 | 3 | 4 |
| Percentile 5 | 20 | 20 | 22 | 24 |
| Percentile 25 | 52 | 52 | 55 | 56 |
| Médiane | 70 | 71 | 73 | 72 |
| Percentile 75 | 86 | 87 | 91 | 89 |
| Percentile 95 | 108 | 109 | 114 | 112 |
| Maximum | 133 | 134 | 143 | 140 |
| Moyenne | 67,8 | 68,6 | 71,8 | 70,9 |
| Ecart-type | 25,9 | 26,2 | 27,4 | 25,8 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Hivers | | | | |
| Minimum | 1 | 1 | 3 | 4 |
| Percentile 5 | 10 | 13 | 14 | 15 |
| Percentile 25 | 36 | 37 | 37 | 39 |
| Médiane | 53 | 54 | 56 | 58 |
| Percentile 75 | 67 | 69 | 71 | 72 |
| Percentile 95 | 84 | 86 | 88 | 88 |
| Maximum | 103 | 100 | 107 | 105 |
| Moyenne | 51,4 | 52,4 | 54,3 | 55,3 |
| Ecart-type | 22,0 | 22,2 | 22,8 | 22,1 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 0 % | 0 % | 1 % |
| Étés | | | | |
| Minimum | 34 | 37 | 37 | 34 |
| Percentile 5 | 55 | 55 | 58 | 57 |
| Percentile 25 | 71 | 71 | 74 | 72 |
| Médiane | 83 | 84 | 90 | 86 |
| Percentile 75 | 97 | 98 | 104 | 99 |
| Percentile 95 | 116 | 118 | 121 | 118 |
| Maximum | 133 | 134 | 143 | 140 |
| Moyenne | 84,3 | 84,8 | 89,3 | 86,4 |
| Ecart-type | 18,0 | 18,8 | 19,4 | 18,9 |
| % valeurs manquantes | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |

Coefficients de corrélation entre stations pour les O₃, pour les 3 années

| Station | Delille | Lecoq | Montferrand | Gerzat |
|--------------------|---------|-------|-------------|--------|
| Delille | 1,000 | | | |
| Lecoq | 0,981 | 1,000 | | |
| Montferrand | 0,975 | 0,976 | 1,000 | |
| Gerzat | 0,967 | 0,964 | 0,974 | 1,000 |

Annexe 7 : Représentation des indicateurs d'exposition sous forme de boîte à moustache (croix rouge = moyenne, médiane, p25, p75, min, max)

(Source : Atmo Auvergne)



Annexe 8 : Proportion d'habitants par commune et code postal, facteur multiplicatif appliqué aux données du PMSI, zone d'étude 2007-2009

(Source : Insee, RP2007 exploitation principale)

| Code postal | Commune | Nombre d'habitants | % | Facteur multiplicatif |
|--------------|--------------------------|--------------------|---------|-----------------------|
| 63170 | AUBIERE | 10 084 | 78,7 % | 0,79 |
| | PERIGNAT-LES-SARLIEVES | 2 730 | 21,3 % | 0,21 |
| 63510 | AULNAT | 4 308 | 80,6 % | 0,81 |
| | MALINTRAT | 1 035 | 19,4 % | 0,19 |
| 63110 | BEAUMONT | 11 209 | 100,0 % | 1 |
| 63670 | LE CENDRE | 4 676 | 44,2 % | 0,44 |
| | ORCET | 2 719 | 25,7 % | 0,26 |
| | LA ROCHE BLANCHE | 3 194 | 30,1 % | 0,30 |
| 63400 | CHAMALIERES | 17 710 | 100,0 % | 1 |
| 63000, 63100 | CLERMONT-FERRAND | 139 501 | 100,0 % | 1 |
| 63800 | COURNON D'AUVERGNE | 18 501 | 84,2 % | 0,84 |
| | PERIGNAT-SUR-ALLIER | 1 340 | 6,1 % | 0,06 |
| | SAINT-GEORGES-SUR-ALLIER | 1 126 | 5,1 % | 0,05 |
| | LA ROCHE NOIRE | 629 | 2,9 % | 0,03 |
| | SAINT-BONNET-LES-ALLIER | 385 | 1,7 % | 0,02 |
| 63370 | LEMPDES | 8 331 | 100,0 % | 1 |

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Clermont-Ferrand, 2007 - 2009

Impact à court et long termes

Une évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique a été réalisée dans l'agglomération de Clermont-Ferrand pour la période 2007-2009. Les trois polluants retenus sont les particules en suspension : $PM_{2,5}$ et PM_{10} et l'ozone. Ils ont été choisis en raison des risques avérés qu'ils présentent pour la santé (effets respiratoires et cardiaques), mis en évidence dans plusieurs études épidémiologiques.

La zone d'étude est constituée de 8 communes de l'unité urbaine de Clermont-Ferrand représentant une population totale de 213 403 habitants. Un abaissement de la moyenne annuelle en PM_{10} permettrait d'éviter, chaque année, 5 décès anticipés tous âges confondus, et 14 hospitalisations (respectivement 8 et 6 pour causes respiratoires et cardiaques). S'agissant de l'impact sanitaire à long terme, une diminution de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la moyenne annuelle en $PM_{2,5}$, conduirait à différer 47 décès par an chez des personnes âgées de plus de 30 ans, dont 24 d'origine cardiovasculaire.

Ces effets sanitaires apparaissent malgré de faibles niveaux de pollution. En termes de santé publique, la mesure préventive la plus efficace est la diminution progressive des niveaux de pollution en réduisant les émissions à la source. L'étude recommande de renforcer spécifiquement les actions entreprises pour diminuer la pollution liée aux $PM_{2,5}$.

Mots clés : Clermont-Ferrand, impact sanitaire, ozone, particules en suspension, pollution atmosphérique, qualité de l'air

Health impact assessment of air pollution in the urban area of Clermont-Ferrand, 2007-2009

Short and long term health effects

An assessment of the health impact of air pollution was conducted in Clermont-Ferrand for the period 2007-2009. The three selected pollutants are suspended particulate: $PM_{2,5}$ and PM_{10} and ozone. They were chosen because of known risks relative to human health (respiratory and cardiac effects), demonstrated in several epidemiological studies.

The study area consisted of 8 municipalities of the Clermont-Ferrand urban unit, representing a total population of 213,403 inhabitants. Reducing by $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} annual average would prevent each year 5 premature deaths for all ages and 14 hospitalizations (respectively 8 and 6 for respiratory and cardiac diseases). Regarding the long-term health impact, lower annual average of $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, for the concentration of $PM_{2,5}$, would prevent 47 deaths a year in people aged over 30 years, including 24 from cardiovascular causes.

This study showed that health effects occur despite low levels of pollution. In terms of public health, the most effective preventive measure is the gradual reduction of pollution levels by reducing emissions at source. Finally, the study recommends the strengthening of specific measures to reduce pollution related to $PM_{2,5}$.

Citation suggérée :

Fougère E, Vincent N, Vaissière E. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Clermont-Ferrand, 2007 - 2009. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 57 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>

INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE

12 rue du Val d'Osne

94415 Saint-Maurice Cedex France

Tél. : 33 (0)1 41 79 67 00

Fax : 33 (0)1 41 79 67 67

www.invs.sante.fr

ISSN : 1958-9719

ISBN-NET : 978-2-11-129778-4

Réalisé par le Service Communication, InVS

Dépôt légal : décembre 2012