



ENVIRONNEMENT

OCTOBRE 2021

ÉTUDES ET ENQUÊTES

ÉVALUATION QUANTITATIVE D'IMPACT
SUR LA SANTÉ (EQIS) DE LA
POLLUTION DE L'AIR AMBIANT EN
RÉGION AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

RÉGION
AUVERGNE RHÔNE-ALPES

Résumé

La pollution atmosphérique constitue un enjeu environnemental majeur pour la santé, en France et dans le monde. De nombreuses études toxicologiques et épidémiologiques mettent en évidence les multiples effets néfastes de la pollution de l'air extérieur sur la santé.

Une évaluation quantitative des impacts sur la santé de la pollution de l'air ambiant a été réalisée dans la région Auvergne-Rhône-Alpes pour permettre aux acteurs locaux, en fournissant des résultats à différentes échelles géographiques, de mesurer les bénéfices potentiels de l'amélioration de la qualité de l'air sur la mortalité et différents indicateurs de santé sur leur territoire. Il s'agit de la première étude de ce type réalisée à l'échelle d'une région en France.

Pour estimer l'exposition moyenne de la population à la pollution de l'air dans toutes les communes de la région, les concentrations en particules fines $PM_{2,5}$, NO_2 et ozone issues d'une modélisation à fine échelle (période 2016-2018) ont été reliées à des données de population.

L'étude montre que 7 % de la mortalité de la région est attribuable à l'exposition à long terme aux particules fines, polluant traceur de sources multiples, soit environ 4 300 décès par an. Les résultats concernant la morbidité montrent que plus de 4 % des cancers du poumon, 6 % des accidents vasculaires cérébraux et 5 % des recours aux urgences pour asthme chez les enfants sont attribuables à l'exposition chronique aux particules fines. La part attribuable au NO_2 , polluant traceur du trafic routier, s'élève à un peu moins de 2 000 décès soit 3 % de mortalité annuelle et l'ozone serait responsable chaque année, chez les personnes âgées de 65 ans et plus, de 0,6 % des hospitalisations pour causes respiratoires et de l'ordre de 1 % des hospitalisations pour causes cardio-vasculaires.

Ces résultats confirment l'impact important de la pollution de l'air ambiant pour la santé de la population de la région et tout l'intérêt de renforcer les actions d'amélioration de la qualité de l'air notamment au niveau local.

MOTS CLÉS : EQIS, POLLUTION DE L'AIR, PARTICULES, NO_2 , OZONE, MORTALITÉ, MORBIDITÉ, AUVERGNE-RHÔNE-ALPES,

Citation suggérée : Yvon JM, Yvroud M. Évaluation quantitative d'impact sur la santé (EQIS) de la pollution de l'air ambiant en région Auvergne-Rhône-Alpes, période 2016-2018. Saint-Maurice : Santé publique France, 2021. 66 p. Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

ISSN : 2609-2174 / ISBN-NET 979-10-289-0735-8 / RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE / DÉPÔT LÉGAL : OCTOBRE 2021

Abstract

Quantitative health impact assessment for ambient air pollution in the Auvergne-Rhône-Alpes region, 2016-2018

Atmospheric pollution is a major environmental issue for health, in France and around the world. Numerous toxicological and epidemiological studies highlight the multiple harmful effects of outdoor air pollution on health.

A quantitative assessment of the health impacts caused by ambient air pollution was carried out in the Auvergne-Rhône-Alpes region with the aim of providing local actors with results, at different geographical scales, that would enable them to measure the potential benefits of improved air quality in terms of mortality and various health indicators for their territory. This is the first study of its kind to be carried out on a regional scale in France.

To estimate the average exposure of the population to air pollution for all municipalities in the region, concentrations of the fine particles PM_{2.5}, NO₂ and ozone obtained from fine-scale modelling (period 2016–2018) were linked to population data.

The study shows that 7% of the region's mortality can be attributed to long-term exposure to fine particles, multiple trace pollutants from multiple sources: the equivalent of around 4,300 deaths per year. Morbidity results show that over 4% of lung cancers, 6% of strokes and 5% of emergency consultations for asthma in children can be attributed to chronic fine particle exposure. The share attributable to NO₂, a trace pollutant emitted by road traffic, amounts to just under 2,000 deaths, i.e. 3% of annual mortality; ozone, in people aged 65 and over, is responsible each year for 0.6% of hospitalizations for respiratory causes and around 1% of hospitalizations for cardiovascular causes.

These results confirm the significant impact of ambient air pollution on the health of the region's population and the importance of strengthening actions to improve air quality, particularly at the local level.

KEY WORDS: HIA, AIR POLLUTION, PARTICLES, NO₂, OZONE, MORTALITY, MORBIDITY, AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

Auteurs

Jean-Marc Yvon, Mélanie Yvrout

Santé publique France Auvergne-Rhône-Alpes

Relecture externe

Hélène Prouvost

Santé publique France Haut-de-France

Remerciements

Pour la fourniture des données d'exposition

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

Pour l'extraction des données de santé

Delphine Casamatta (Santé publique France Auvergne-Rhône-Alpes), Magali Corso (Santé publique France – Direction santé environnement travail)

À l'ensemble des membres du comité technique : Stéphane Socquet-Juglard et Bernard Jouvès (Atmo Auvergne-Rhône-Alpes), Armelle Mercurol et Nicolas Grenetier (ARS Auvergne-Rhône-Alpes), Évelyne Bernard et Emmanuel Donnaint (Dreal Auvergne-Rhône-Alpes), Elsa Thomasson (Ademe Auvergne-Rhône-Alpes), Lucie Anzivino (ORS Auvergne-Rhône-Alpes), Clément Pesle (Grenoble-Alpes Métropole).

Pour la relecture : Christine Saura, Emmanuelle Vaissière, Magali Corso et Sylvia Médina (Santé publique France), Stéphane Socquet-Juglard et Didier Chapuis (Atmo Auvergne-Rhône-Alpes)

Abréviations

AASQA	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
ARS	Agence régionale de santé
AVC	Accident vasculaire cérébral
CépiDC	Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès
Cerema	Centre d'études et d'expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CIM	Classification internationale des maladies
Dreal	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EPCI	Établissement public de coopération intercommunale
EQIS	Évaluation quantitative d'impact sur la santé
Francim	Réseau français des registres de cancers
IC_{95%}	Intervalle de confiance à 95%
Ineris	Institut national de l'environnement industriel et des risques
IRS	Inventaire régional spatialisé
NO₂	Dioxyde d'azote
NO_x	Oxydes d'azote
O₃	Ozone
OMS	Organisation mondiale de la santé
ORS	Observatoire régional de la santé
Oscour®	Organisation de la surveillance coordonnée des urgences
PCAET	Plans climat air énergie territoriaux
PCET	Plans climat énergie territoriaux
PDU	Plans de déplacements urbains
PLQA	Plan local pour l'amélioration de la qualité de l'air
PLU	Plan local d'urbanisme
PM₁₀	Particule en suspension de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 micromètres
PM_{2,5}	Particule en suspension de diamètre aérodynamique médian inférieur à 2,5 micromètres
PMSI	Programme de médicalisation des systèmes d'information
PPA	Plan de protection de l'atmosphère
ppb	Partie par milliard
PRSE	Plan régional santé environnement
RPU	Résumé de passage aux urgences
RR	Risque relatif
SCoT	Schémas de cohérence territoriaux
SO₂	Dioxyde de soufre
Sraddet	Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires
SRCAE	Schéma régional climat air énergie
SurSaUD®	Système de surveillance sanitaire des urgences et décès

Sommaire

Résumé	2
Abstract	3
Auteurs	4
Relecture externe	4
Remerciements	4
Abréviations.....	5
 1. INTRODUCTION-CONTEXTE	8
1.1 Pollution de l'air et santé	8
1.2 Les polluants	8
1.3 Principe d'une EQIS	9
1.4 EQIS menées en France et en Auvergne-Rhône-Alpes.....	10
1.5 Contexte en région Auvergne-Rhône-Alpes et objectif de l'étude	11
 2. MÉTHODE.....	16
2.1 Choix de la période et de la zone d'étude	16
Période d'étude.....	16
Zone et population d'étude	16
2.2 Choix des couples polluants – effets sur la santé et des risques relatifs	18
2.3 Estimation de l'exposition de la population.....	18
2.4 Construction des indicateurs de santé	20
Mortalité totale	20
Incidence de cancer du poumon.....	20
Incidence des AVC	20
Hospitalisation pour causes cardiovasculaires et respiratoires	21
Recours aux urgences pour asthme.....	21
2.5 Sélection des données démographiques	21
2.6 Scénarios de réduction des concentrations en polluants	21
2.7 Échelles de restitution	22
2.8 Calculs.....	23
 3. RÉSULTATS	24
3.1 Description de la zone d'étude	24
3.2 Exposition de la population à la pollution de l'air ambiant	24
Exposition de la population aux PM _{2,5}	24
Exposition au NO ₂	26
Exposition à l'ozone.....	28
3.3 Événements sanitaires observés.....	30
3.4 Impact des PM _{2,5} et du NO ₂ sur la mortalité, l'incidence des cancers du poumon et des AVC et le recours aux urgences pour asthme	33
3.5 Impact à court terme de l'ozone	38
3.6 Analyses de sensibilité	39
Influence de l'échelle de calcul	39
Influence du RR.....	42

4. DISCUSSION	43
4.1 Synthèse des résultats	43
4.2 Choix des couples polluants-effets	43
4.3 Choix des seuils de référence	44
4.4 Comparaison avec d'autres EQIS	45
4.5 Autres sources d'incertitudes	46
4.6 Implication en termes de santé publique	47
5. CONCLUSION.....	50
Références bibliographiques	51
6. ANNEXES	56
Annexe 1. Résultats par département : impact sur plusieurs événements de santé de l'exposition aux particules fines (PM _{2,5}).....	57
Annexe 2. Résultats par EPCI : impact sur la mortalité à long terme de l'exposition à la pollution de l'air ambiant (PM _{2,5} et NO ₂).....	59
Annexe 3. Résultats par ville (> 20 000 habitants) : impact sur la mortalité à long terme de l'exposition aux PM _{2,5} et au NO ₂	63
Annexe 4. Résultats par zone prioritaire :	65
1. Indicateurs d'exposition	65
2. Mortalité à long terme attribuable à la pollution de l'air ambiant (PM _{2,5} , NO ₂)	66

1. INTRODUCTION-CONTEXTE

La pollution de l'air extérieur constitue un enjeu majeur de santé publique en France et dans le monde. Des décennies de recherches et des milliers d'études toxicologiques et épidémiologiques mettent en évidence des effets avérés de la pollution de l'air sur la santé, y compris à des concentrations inférieures aux valeurs réglementaires européennes et aux valeurs guides recommandées par l'organisation mondiale de la santé (OMS). Santé publique France a estimé en 2021 qu'en France, 40 000 décès prématurés soit 7,1 % de la mortalité sont attribuables chaque année aux particules en suspension de diamètre aérodynamique médian inférieur à 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) [1]. Ce résultat est du même ordre de grandeur que l'estimation (33 000 décès prématurés) réalisée par l'Agence européenne de l'environnement [2].

La pollution de l'air est un facteur de risque environnemental qui a un impact sur la santé de l'ensemble de la population, et dont les niveaux peuvent être diminués par des mesures collectives. Dans un objectif d'aide à la décision, les évaluations quantitatives d'impact sur la santé (EQIS) permettent d'estimer les bénéfices potentiels sur la santé d'une amélioration de la qualité de l'air pour une population et une zone géographique données. Concrètement, les EQIS évaluent ces bénéfices en définissant des scénarios d'amélioration de la qualité de l'air, en utilisant des données environnementales, sanitaires, et les fonctions concentration-risque ou risque relatif (RR). issues d'études épidémiologiques qui quantifient le lien entre les variations de concentration du polluant et la mortalité ou les événements de santé étudiés.

Ce rapport présente l'EQIS réalisée pour l'ensemble du territoire de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Il s'agit de la première étude de ce type réalisée à l'échelle d'une région en France.

1.1 Pollution de l'air et santé

Dans son rapport « *Ambient air pollution* » (partie « *A global assessment of exposure and burden of disease* » [3]), l'OMS, présente l'impact sur la santé lié à cette exposition, ainsi que les méthodes permettant d'aboutir aux résultats liant l'exposition à ses effets. L'OMS a ainsi adopté une résolution [4] pour prendre des mesures face aux enjeux sanitaires de la pollution de l'air ambiant. À l'échelle mondiale, de très nombreuses études épidémiologiques mettent en évidence les multiples effets néfastes de l'exposition à cette pollution. Elles montrent que l'exposition à long terme à la pollution de l'air ambiant favorise le développement de pathologies chroniques graves, notamment respiratoires [5-7], cardiovasculaires [8, 9] et cancéreuses [10]. Des impacts sur la reproduction, les maladies endocriniennes [11], les maladies neurologiques et le développement de l'enfant sont aussi suspectés [12]. L'impact de la pollution de l'air sur le développement de ces pathologies graves, considéré comme un effet à long terme, se traduit par une augmentation de la mortalité [13, 14], une diminution de l'espérance de vie et de la qualité de vie des populations exposées.

L'exposition à la pollution de l'air ambiant peut également aggraver des pathologies déjà présentes, principalement cardiovasculaires ou respiratoires [15]. Dans les cas les plus graves, elle peut entraîner des hospitalisations ou des décès dans les jours qui suivent l'exposition [16-19] : on parle alors d'effets à court terme. Cependant, les impacts sur la santé à long terme de la pollution de l'air ambiant restent très supérieurs aux impacts à court terme.

1.2 Les polluants

La pollution de l'air ambiant est un mélange complexe de composés chimiques et biologiques qui peuvent être d'origine naturelle ou anthropique et qui peuvent être des polluants primaires ou secondaires. Des polluants qualifiés d'indicateurs de pollution représentent globalement une partie de cette pollution. Les plus classiquement surveillés sont les particules en suspension de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 μm (PM_{10}) ou à 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), l'ozone (O_3), le dioxyde d'azote

(NO₂) et le dioxyde de soufre (SO₂). En Auvergne-Rhône-Alpes, leur surveillance est assurée par l'Association agréée de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa) Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

La communauté scientifique admet un lien causal entre l'exposition aux particules fines et la mortalité [20-22]. Les particules fines sont habituellement mesurées selon leur diamètre : PM₁₀ et les PM_{2,5}. Ces dernières constituent la fraction la plus fine des PM₁₀ et peuvent pénétrer dans les ramifications les plus profondes des voies respiratoires et passer dans la circulation sanguine [18]. Les réglementations française et européenne fixent des valeurs limites [23, 24] journalières et annuelles pour les PM₁₀, et annuelles pour les PM_{2,5}. L'OMS recommande aussi des valeurs-guide, qui sont inférieures aux valeurs réglementaires. En 2005, la valeur guide pour les PM_{2,5} était fixée par l'OMS à 10µg/m³ [25], valeur au-dessous de laquelle il n'avait pas été observé d'effets nuisibles sur la santé à cette date. Depuis, des études à l'échelle de la population n'ont pas mis en évidence de seuil protecteur en dessous duquel aucun impact sur la santé ne serait observé [26]. Le 22 septembre 2021, de nouvelles valeurs guides ont été publiées fixant à 5µg/m³ la nouvelle valeur guide pour les PM_{2,5}¹.

Le NO₂ est un polluant de l'air ambiant issu des processus de combustion émis principalement par le trafic routier. Il est considéré comme un traceur de la pollution associée au trafic. Ainsi, les effets sur la santé estimés pour cet indicateur sont entraînés par le NO₂ lui-même mais aussi majoritairement par les polluants qui y sont associés (particules ultrafines, carbone suie, composés organiques volatils...). Des études épidémiologiques ont montré des associations entre cet indicateur et la mortalité [27-29] à court et long terme [30, 31], ainsi qu'un lien avec des pathologies respiratoires et cardiovasculaires [32] à long terme. Les valeurs annuelles réglementaires françaises et européennes [23, 24] sont fixées à 40µg/m³ pour le NO₂ alors que la toute nouvelle recommandation de l'OMS est fixée à 10µg/m³.

En ce qui concerne l'ozone (O₃), les études sont moins nombreuses mais suggèrent des effets à court terme sur la santé respiratoire et cardiovasculaire [33] ainsi que sur la mortalité à court terme [31, 34]. La valeur journalière recommandée par l'OMS pour ce polluant est de 100 µg/m³ (exprimées en maximum journalier de la moyenne des concentrations sur huit heures) [25].

1.3 Principe d'une EQIS

L'EQIS est un outil initialement développé par l'OMS afin d'illustrer l'impact de la pollution de l'air sur la santé publique [35]. Elle permet de visualiser l'impact sur la santé de la pollution de l'air sur une population donnée et d'en estimer les bénéfices atteignables sous différents scénarios d'amélioration de la qualité de l'air.

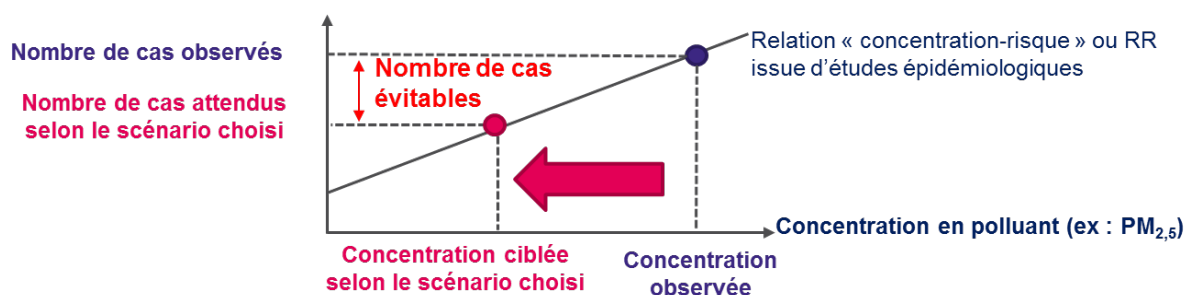
La causalité entre l'exposition aux polluants de l'air et des événements de santé comme par exemple entre l'exposition aux PM_{2,5} et la mortalité [36], l'asthme [33, 37], les cancers du poumon [38] et les accidents vasculaires cérébraux (AVC) [39] est admise par la communauté scientifique internationale. Cela implique que sur la zone d'étude, pour la période considérée, le niveau de concentration de ce polluant contribue à la mortalité et aux événements de santé enregistrés. Ainsi, si les concentrations mesurées baissaient, un nombre inférieur d'événements de santé serait observé (Figure 1). Les résultats peuvent s'exprimer en nombre d'événements de santé évités ou reportés et en mois d'espérance de vie gagnés.

Les étapes principales de la démarche d'EQIS sont présentées dans la figure 2.

¹ Les nouvelles valeurs guides de l'OMS pour la qualité de l'air sont disponibles sur : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.

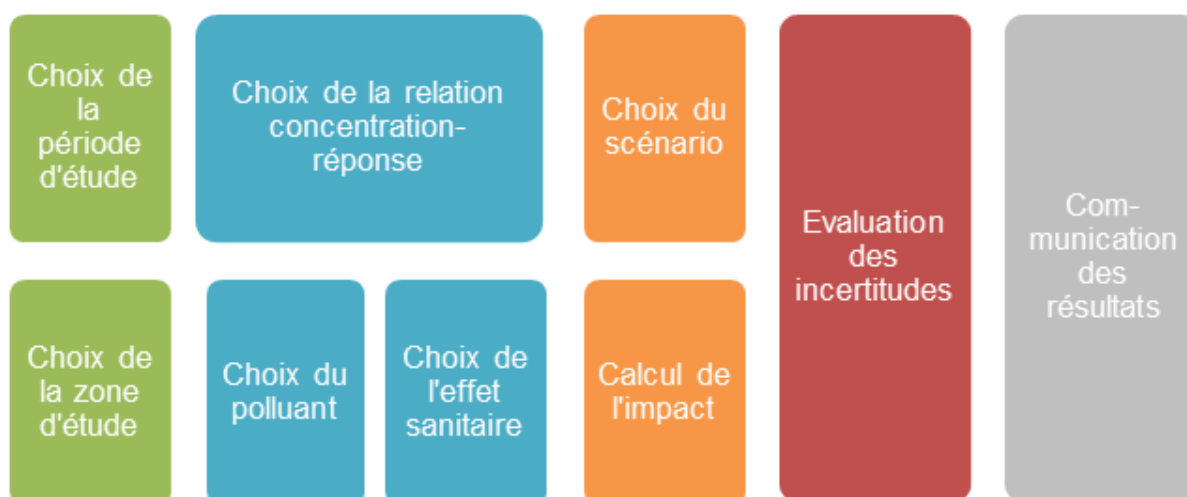
I FIGURE N° 1 I

Principe d'une évaluation d'impact sur la santé



I FIGURE N° 2 I

Étapes de la méthode d'une EQIS



1.4 EQIS menées en France et en Auvergne-Rhône-Alpes

Entre 1999 et 2017, en s'appuyant sur des guides méthodologiques développés et régulièrement mis à jour par Santé publique France [40, 41], 120 EQIS ont été produites sur 55 zones urbaines françaises [42]. Ces EQIS s'appuyaient sur les données des stations de mesure présentes dans les zones urbaines en considérant que le niveau de pollution était globalement homogène sur la zone d'étude du territoire urbain considéré.

En Auvergne-Rhône-Alpes, des EQIS ont été menées à Clermont-Ferrand [43], Lyon [44], Saint-Étienne [45], Annecy [46], Grenoble [47], Valence [48] et dans la vallée de l'Arve [49].

En 2016, Santé publique France a réalisé une EQIS sur l'ensemble de la France continentale sur la période 2007-2008, estimant que l'exposition chronique aux $PM_{2,5}$ contribuait à 9 % de la mortalité totale annuelle, soit 48 000 décès prématurés par an, ainsi qu'à une perte d'espérance de vie qui pouvait dépasser deux ans dans les territoires les plus pollués [50]. Cette EQIS proposait une déclinaison territoriale et fournissait des résultats au niveau régional et départemental. Cependant, cette EQIS qui reposait sur un modèle estimant les concentrations de $PM_{2,5}$ sur une grille de 2*2km

et sur un réseau de mesures insuffisamment dense pour le recalage du modèle, ne permettait pas de rendre compte finement de l'impact de la pollution de l'air ambiant en particulier dans les zones de la région présentant une géographie complexe, comme par exemple les vallées encaissées comme il en existe dans les Alpes [49, 50].

En 2021, Santé publique France a réévalué cette estimation pour la période 2016-2019 à près de 40 000 décès annuels attribuables à l'exposition aux $PM_{2,5}$ pour l'ensemble de la France métropolitaine [1]. Ce nombre est en baisse par rapport à l'étude précédente (48 000 décès annuels attribuables pour la période 2007-2008). Cette baisse est cependant moins importante que celle qui pourrait être attendue compte tenu de la diminution de 50 % des concentrations en $PM_{2,5}$ entre 2009 et 2019. En effet, il faut tenir compte de l'amélioration significative de la modélisation de l'exposition entre les deux études, en particulier dans les zones rurales, grâce notamment à un réseau de mesure plus dense. Par ailleurs, il faut aussi prendre en compte l'évolution démographique avec une population qui a augmenté, vieilli et s'est plus concentrée dans les zones urbaines où elle est plus exposée à la pollution de l'air ambiant que dans les zones rurales.

Ces EQIS menées à différentes périodes, reposent sur une méthodologie évolutive, tenant compte de l'actualisation des connaissances sur les relations concentration-risques et utilisant des données environnementales toujours plus précises pour caractériser l'exposition des populations.

Aussi, ces EQIS ne permettent pas les comparaisons à la fois dans le temps (pour suivre l'impact des mesures d'amélioration de la qualité de l'air prises dans une métropole) et dans l'espace (entre métropoles de la région lorsqu'elles ne sont pas réalisées de manière simultanée).

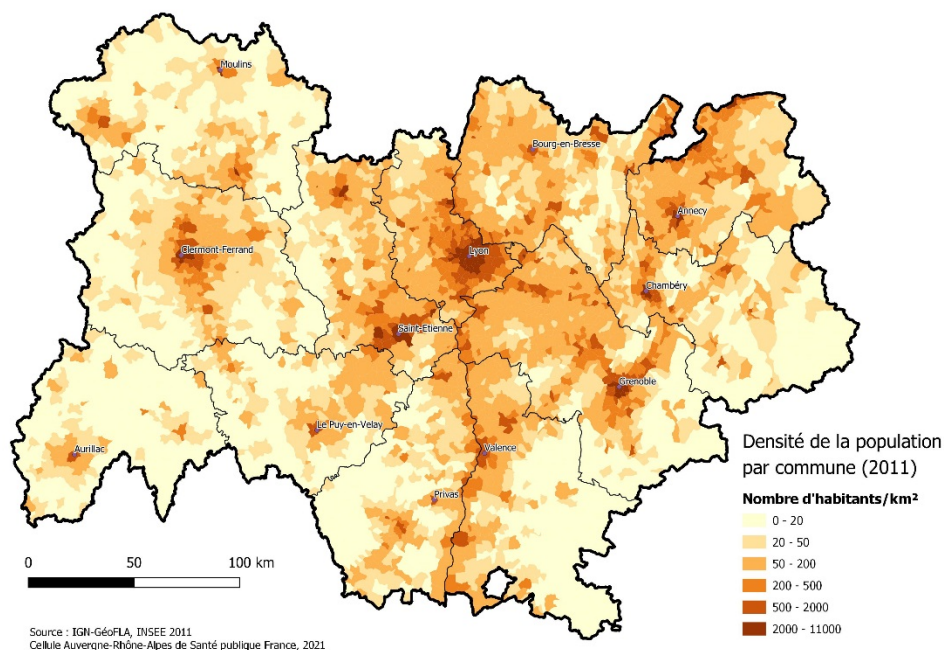
1.5 Contexte en région Auvergne-Rhône-Alpes et objectif de l'étude

La région Auvergne-Rhône-Alpes est la deuxième région la plus peuplée de France, concentrant 12 % de la population française (Insee 2015) sur 13 % du territoire de la métropole. La densité de la population d'Auvergne-Rhône-Alpes (111,3 habitants/km²) et la structure par âge de sa population sont globalement proches des moyennes nationales [51]. Cependant, la région Auvergne-Rhône-Alpes est une terre de contraste. Elle conjugue des espaces urbains à la densité élevée, avec des zones rurales et montagneuses peu, voire très peu denses (Figure 3). Au centre de la région, l'agglomération lyonnaise étend son influence sur un périmètre très large, le long des principaux axes de communication. Trois millions de personnes résident à moins d'une heure en voiture du centre de Lyon. À l'est de la région, le sillon alpin s'étendant de Grenoble à Genève est le deuxième espace à forte densité de la région. À l'ouest, Clermont-Ferrand est la principale métropole du Massif Central et se trouve au cœur d'un couloir de densification s'étendant de Vichy à Issoire. Auvergne-Rhône-Alpes est à la fois une région très urbaine et la principale région de montagne française [52].

La situation sanitaire, appréhendée notamment par l'espérance de vie à la naissance, est une des meilleures de France. La région enregistre une sous-mortalité pour les deux principales causes de décès : les cancers et les maladies de l'appareil circulatoire. La mortalité pour les principales pathologies associées à la consommation d'alcool et de tabac est également en deçà des moyennes nationales [51]. Toutefois, si l'état de santé de la population à l'échelle de la grande région est plutôt favorable, les disparités territoriales sont fortes, les indicateurs étant presque systématiquement plus favorables dans les départements de l'ex Rhône-Alpes que dans ceux de l'ex Auvergne [52]

I FIGURE N° 3 I

Densité de la population par commune, Auvergne-Rhône-Alpes, 2011



Bien que les niveaux de pollution soient, à l'exception de l'ozone, en baisse régulière (Figure 4), la région reste particulièrement concernée par les enjeux de la pollution de l'air ambiant. En effet, de nombreuses zones enregistrent encore des dépassements des valeurs réglementaires pour différents polluants [53] et plusieurs territoires de la région sont concernés par des contentieux européens [54]. Les sources d'émissions sont variées, avec une contribution importante du trafic aux émissions d'oxyde d'azote (NO_x) et du résidentiel aux émissions de particules fines PM₁₀ et PM_{2,5} (Figure 5).

I FIGURE N° 4 I

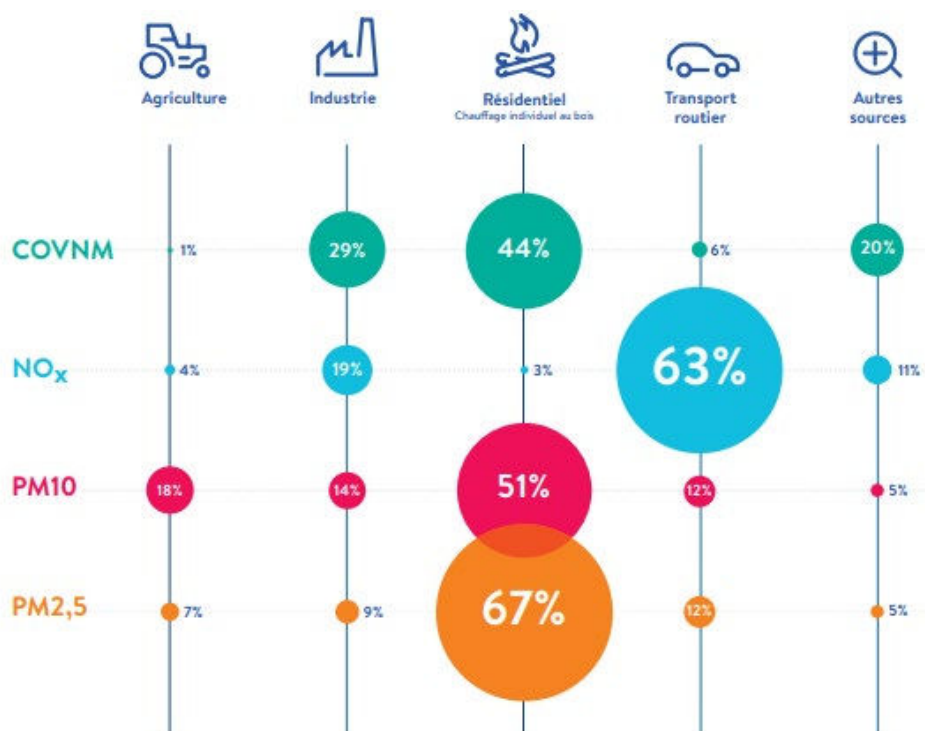
Tendance d'évolution des concentrations moyennes annuelles en Auvergne-Rhône-Alpes, 2007-2019



Source : Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

I FIGURE N° 5 I

Contribution des secteurs d'activités humaines aux émissions de polluants de l'air ambiant en Auvergne-Rhône-Alpes, 2019



Source : Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

Il existe plusieurs plans régionaux ou locaux concourant à la préservation de la qualité de l'air, dans la continuité de stratégies nationales. Parmi ces plans, on peut distinguer les plans spécifiques visant à améliorer la qualité de l'air et des plans plus généraux qui intègrent des actions ayant un impact sur la qualité de l'air [55].

Parmi les plans généraux, le 3^e Plan régional santé environnement (PRSE3) de la région, construit sur la période 2017-2021 a pour objectif la construction, par tous les acteurs de la région, d'un environnement favorable à la santé. Ce plan est divisé en trois axes, eux-mêmes divisés en actions. Il ne concerne pas seulement l'air extérieur, mais plusieurs actions s'y rapportent directement [52].

Le schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (Sraddet) [56] adopté par le conseil régional en décembre 2019 est un schéma stratégique et transversal à l'horizon 2030 qui recouvre 11 thématiques dont celle de la pollution de l'air. Ce schéma a intégré plusieurs schémas régionaux préexistants dont l'ancien schéma régional climat air énergie (SRCAE) de l'ex-Auvergne et de l'ex-Rhône-Alpes. Ce schéma fixe des objectifs de réduction d'émissions de polluants et définit 9 zones prioritaires (Figure 6) qui pourront bénéficier d'un soutien accru de la région. C'est un document prescriptif qui s'impose aux documents de rang inférieurs et notamment les documents d'urbanisme et d'aménagement locaux tels que les schémas de Cohérence Territoriaux (SCoT), les plan locaux d'urbanisme (PLU), les plans climat air énergie territoriaux (PCAET) et les plans de déplacement urbain (PDU).

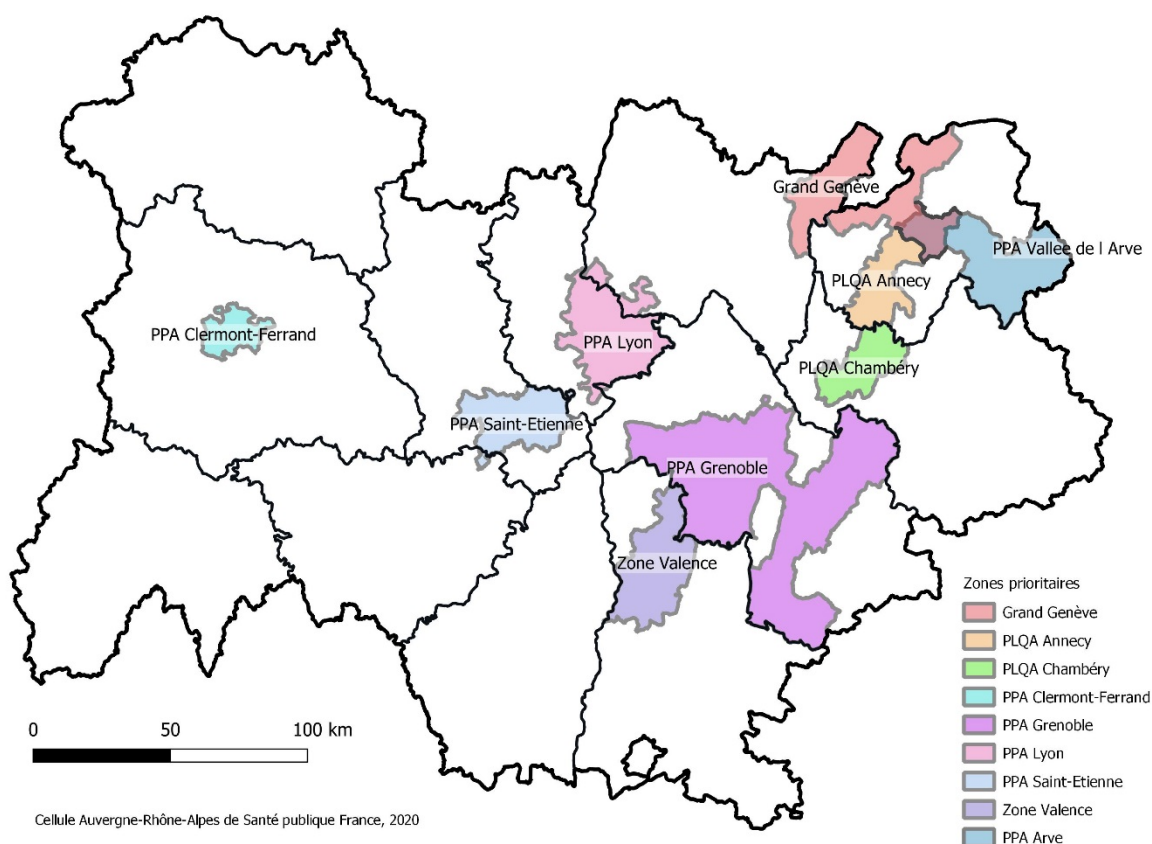
En 2016, les anciens plans climat énergie territoriaux (PCET) qui sont des outils territoriaux de développement durable issus du plan climat national de 2004 ont intégré l'enjeu de la qualité de l'air extérieur et sont devenus les PCAET. Ils ont donc pour objectif d'être le moteur de l'action territoriale dans la lutte contre le changement climatique et la pollution de l'air. Ils confient la planification des

actions aux établissements publics de coopération intercommunale (EPCI). Ils sont obligatoires pour les EPCI de plus de 20 000 habitants et facultatifs pour les autres.

S'agissant de plans spécifiques à la pollution de l'air, la région compte 5 plans de protection de l'atmosphère (PPA). Ces plans sont mis en place dans toutes les agglomérations comportant plus de 250 000 habitants (Grenoble, Clermont-Ferrand, Lyon et Saint-Etienne) et peuvent l'être également dans des territoires moins peuplés lorsque les valeurs réglementaires de qualité de l'air sont dépassées (vallée de l'Arve en Haute-Savoie) (Figure 6). Leur objectif est de définir des actions adaptées au contexte local pour améliorer la qualité de l'air et ainsi éviter les dépassements. Ils sont pilotés par le préfet du département en lien avec la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement [57] et associent l'ensemble des parties prenantes (Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, les collectivités concernées, les associations...). Dans certains cas, le recours à un PPA n'apparaît pas nécessaire, mais si un dépassement des seuils réglementaires est relevé alors un plan local d'amélioration de la qualité de l'air (PLQA) peut être mis en place. Ce plan est validé par le préfet et est élaboré pour cinq ans. La région en compte deux, un pour Annecy et un pour Chambéry. Sur le territoire du Grand Genève, un accord transfrontalier pour la qualité de l'air dénommé PACT'AIR a été signé en 2017 entre plusieurs partenaires suisses et français. Enfin, la zone de Valence n'a pas fait l'objet d'un plan spécifique sur la qualité de l'air mais des actions d'amélioration de la qualité de l'air sont menées dans le cadre de plans plus généraux comme le PCAET.

I FIGURE N°6 I

Zones prioritaires pour la qualité de l'air en Auvergne-Rhône-Alpes, découpage 2019



Les EQIS réalisées par Santé publique France n'ont pas de caractère obligatoire, elles s'inscrivent souvent en complément de ces plans d'action locaux. En quantifiant l'impact de la pollution de l'air ambiant sur la santé de la population au niveau local, elles jouent un rôle de sensibilisation des élus et des parties prenantes sur l'enjeu de santé, et servent de levier à la mise en place d'actions d'amélioration de la qualité de l'air et de protection de la santé des populations.

Au-delà de l'enjeu que représente la pollution de l'air pour la santé en Auvergne-Rhône-Alpes, la décision de réaliser cette EQIS s'est appuyée sur la disponibilité de nouveaux indicateurs d'exposition développés par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes en concertation notamment avec la cellule régionale de Santé publique France dans le cadre du PRSE3 [58] et la mise à disposition par Santé publique France de nouveaux guides de réalisation d'EQIS en 2019 [40].

Cette EQIS a pour objectif

- de fournir des résultats comparables sur l'ensemble du territoire et aux échelles de mise en œuvre des politiques locales et ainsi de permettre aux acteurs locaux de s'approprier les enjeux sanitaires de la pollution de l'air ambiant sur leur territoire, pour les mobiliser et les aider à mettre en place des mesures permettant de diminuer l'exposition de la population à cette pollution ;
- d'évaluer dans la région Auvergne-Rhône-Alpes les impacts sur la santé à court et long terme des PM_{2,5} sur plusieurs événements de santé (mortalité, cancers du poumon, AVC, passage aux urgences pour asthme), les impacts sur la santé à long terme du NO₂ sur la mortalité et les effets à court terme de l'ozone sur les hospitalisations cardiovasculaires et respiratoires.

La réalisation de cette étude s'est appuyée sur un comité technique régional² piloté par Santé publique France pour partager les éléments de méthode, valider le protocole définitif et organiser la production des données d'exposition nécessaires. La mise en place de ce comité a également permis de favoriser une vision partagée des enjeux sanitaires liés à la pollution de l'air ambiant entre ses membres et de faire des propositions pour la communication des résultats de cette étude.

² Composition du comité technique : Atmo Auvergne Rhône-Alpes, ARS, Dreal, Ademe, ORS, métropole de Grenoble, Santé publique France.

2. MÉTHODE

La méthode de cette étude suit une démarche classique d'EQIS contrefactuelle, dans le but d'estimer l'impact sur la santé attendu d'une diminution de la pollution de l'air ambiant, toutes choses égales par ailleurs, sans prendre en compte de délai entre la baisse de pollution et l'apparition des bénéfices sur la santé, et sans considérer d'évolution au sein de la population (dans la structure démographique par exemple). Les choix faits lors de la réalisation de cette étude s'appuient sur le dernier guide méthodologique de Santé publique France [40].

2.1 Choix de la période et de la zone d'étude

Période d'étude

La réalisation d'une EQIS requiert deux ou trois années de données en évitant dans la mesure du possible les années atypiques, notamment du point de vue météorologique.

Les années 2016 à 2018 ont été sélectionnées car elles correspondent aux indicateurs d'exposition disponibles fournis par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes et sont suffisamment récentes.

Zone et population d'étude

La région Auvergne Rhône-Alpes s'étend sur une superficie de 70 000 km² pour une population de 7,9 millions d'habitants (Insee 2015).

L'étude porte sur l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes ainsi que sur les découpages infra-régionaux suivants :

- Les 12 départements qui composent la région
- Les 9 territoires de la région prioritaires (Tableau 1) identifiés dans le Sraddet. La majorité de ces territoires sont couverts par un Plan de protection de l'atmosphère (PPA : 5 territoires) ou un Plan local d'amélioration de la qualité de l'air (PLQA : 2 territoires). À noter qu'il y a une zone de chevauchement entre le territoire du Grand Genève et celui du PPA de la vallée de l'Arve.
- Les 163 EPCI inclus selon le découpage 2019 en totalité dans la région, ainsi que la Communauté d'Agglomération de Moulins dont le territoire est très majoritairement inclus dans la région soit au total 164 EPCI. Les 8 autres EPCI partiellement dans la région ne sont pas pris en compte. Parmi ces 164 EPCI, 90 ont une population supérieure à 20 000 habitants, seuil à partir duquel une restitution de résultat détaillée est préconisée par le guide de Santé publique France (Figure 7).

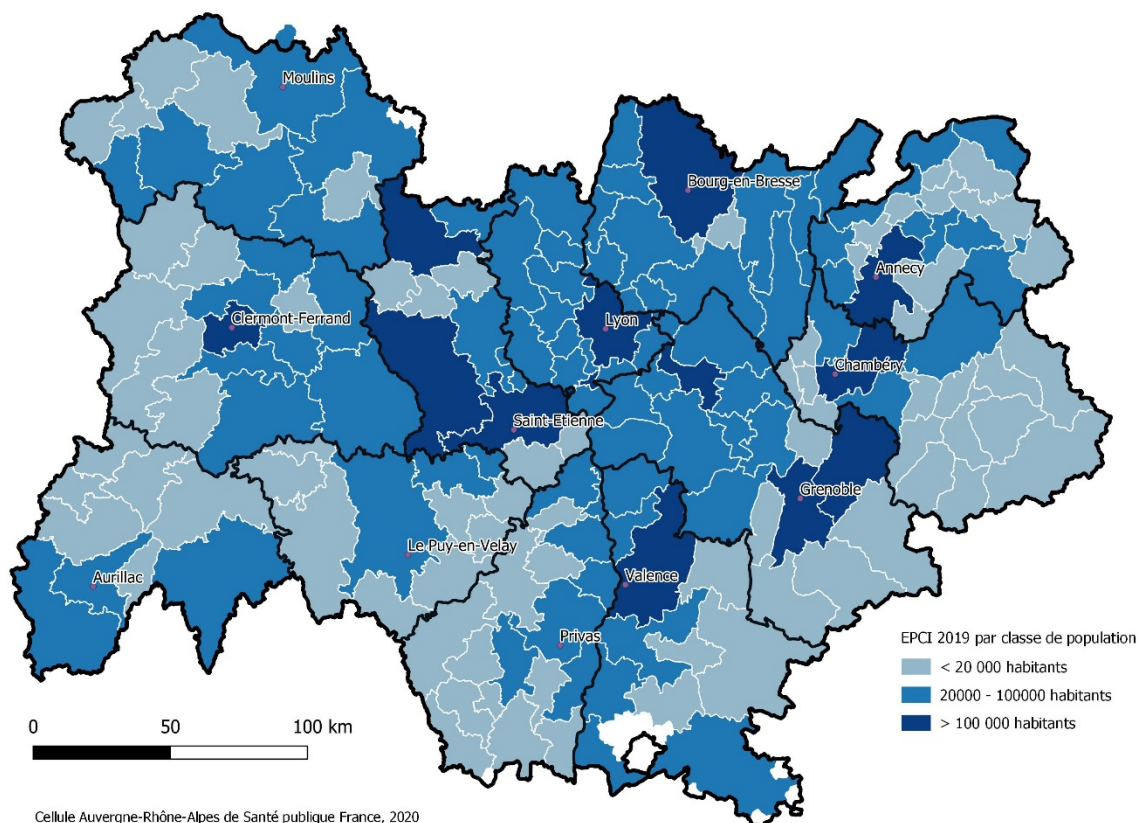
I TABLEAU N°1 I

Caractéristiques des neuf zones prioritaires de la région Auvergne-Rhône-Alpes

Zone prioritaire	Département(s)	Nombre de communes	Population (2016)
Grand Genève	01,74	120	409 000
PLQA Annecy	74	34	200 000
PLQA Chambéry	73	38	134 000
PPA Clermont-Ferrand	63	22	291 000
PPA Grenoble	38	267	765 000
PPA Lyon	01,38,69	123	1 599 000
PPA Saint-Etienne	42,43	54	439 000
PPA Vallée de l'Arve	74	41	158 000
Zone Valence	26	56	220 000

I FIGURE N°7 I

Population par EPCI en Auvergne-Rhône-Alpes, 2016



L'échelle initiale de calcul est la commune pour les PM_{2,5} et le NO₂. Le référentiel utilisé est celui de l'année 2018, correspondant à celui des indicateurs d'exposition fournis par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Ainsi, en 2018, la région Auvergne-Rhône-Alpes comptait 4 100 communes. Certains indicateurs de santé n'étant disponibles qu'à l'échelle du découpage du programme de

médicalisation des systèmes d'information (PMSI) (découpage dérivé de celui du code postal avec cependant des regroupements pour certains codes postaux), c'est cette échelle qui a été utilisée pour les calculs.

Pour l'ozone, les calculs ont été réalisés directement au niveau du département après agrégation des indicateurs d'exposition et de santé et après vérification que les résultats étaient quasiment identiques à un calcul à l'échelle du PMSI (Voir 3.6 Analyses de sensibilité).

2.2 Choix des couples polluants – effets sur la santé et des risques relatifs

Les couples polluants-effets sur la santé (ou concentration-risque) utilisés pour cette EQIS (Tableau 2) ont été choisis parmi ceux proposés par le guide de réalisation d'une EQIS avec une exposition modélisée publié par Santé publique France en 2019 [40]. Ce guide s'appuie sur des études épidémiologiques, qui supposent une relation causale établie entre l'exposition à un polluant et la survenue d'un effet sur la santé. La mise en œuvre d'une EQIS repose donc sur des couples polluants-effets pour lesquels le lien a été établi et pour lesquels des RR suffisamment robustes sont disponibles au moment de la réalisation du guide.

L'analyse principale porte sur la contribution de l'exposition chronique aux PM_{2,5} à la mortalité totale chez les 30 ans et plus. En effet, ce couple polluant – effet sur la santé est celui pour lequel le RR est le plus robuste.

Les analyses complémentaires concernent l'impact des PM_{2,5} sur plusieurs indicateurs de morbidité à court et long terme, l'impact du NO₂ sur la mortalité à long terme chez les 30 ans et plus, ainsi que sur l'impact de l'exposition à l'ozone sur les hospitalisations à court terme chez les 65 ans et plus.

I TABLEAU N°2 I

Risques relatifs utilisés selon les couples polluants-effets étudiés.

Couple polluant-effet	Effet	RR pour 10 µg/m ³	Classe d'âge	Références
PM _{2,5} – Mortalité totale	Long terme	1,15 [1,05 ; 1,25]	30 ans et plus	[59]
PM _{2,5} – Incidence du cancer du poumon	Long terme	1,09 [1,04 ; 1,14]	Tous âges	[38]
PM _{2,5} – Incidence des AVC	Long terme	1,13 [1,04 ; 1,23]	Tous âges	[39]
PM _{2,5} – Passages aux urgences pour asthme chez les enfants	Court terme	1,098 [1,012 ; 1,190]	0 – 17 ans	[60]
NO ₂ – Mortalité totale	Long terme	1,023 [1,008 ; 1,037]	30 ans et plus	[61]
O ₃ – Hospitalisations pour causes respiratoires	Court terme	1,0044 [1,0007 ; 1,0083]	65 ans et plus	[33]
O ₃ – Hospitalisations pour causes cardiovasculaires	Court terme	1,0089 [1,0050 ; 1,0127]	65 ans et plus	[33]

2.3 Estimation de l'exposition de la population

Les concentrations annuelles de polluants sont estimées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes à partir d'une chaîne de modélisation combinant des modèles de chimie-transport et des approches géostatistiques. La plateforme à l'échelle régionale intègre l'Inventaire régional spatialisé (IRS) à fine échelle des émissions atmosphériques détenu par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (tous secteurs

d'émissions), le modèle météorologique WRF (*National Center for Atmospheric Research*) et le modèle de chimie transport Chimere développé par l'Institut Pierre Simon Laplace, en collaboration avec l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). Un traitement géostatistique se basant sur les mesures des stations fixes du réseau Atmo Auvergne-Rhône-Alpes est ensuite appliqué pour créer la carte régionale.

Dans un second temps, le modèle de dispersion à fine échelle Sirane est mis en œuvre sur l'ensemble de la région. La cartographie des polluants à fine échelle est alors calculée en combinant ces résultats avec la cartographie à l'échelle régionale (Figure 8).

Ce modèle fournit ainsi une estimation des concentrations des polluants (PM_{2,5}, NO₂ et ozone) sur une maille de 10m*10m sur l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes sur la période 2016-2018.

Un indicateur d'exposition est ensuite calculé pour chaque commune de la région (selon le découpage administratif 2018) et pour chacun des trois indicateurs de pollution (PM_{2,5}, NO₂ et ozone).

Pour les PM_{2,5}, l'indicateur d'exposition utilisé est celui qui a été élaboré par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre du PRSE3, en particulier pour l'action 1 « Consolider l'observation en santé-environnement et faciliter son utilisation par les décideurs ». Il s'agit, sur le territoire de chaque commune, de la moyenne des concentrations annuelles en PM_{2,5} modélisées, pondérée sur la population par carré de bâti (population de l'année 2016) à partir des données foncières Majic [62] permettant une description très fine de la population à une échelle locale. Cet indicateur exprime l'exposition moyenne aux PM_{2,5} de la population de la commune concernée.

L'indicateur d'exposition au NO₂ a été construit de la même façon que celui des PM_{2,5} spécifiquement pour cette étude par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes et permet donc d'obtenir, comme pour les PM_{2,5}, une exposition communale annuelle moyenne de la population à ce polluant.

Pour le calcul de l'indicateur d'exposition communal à l'ozone, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a fourni pour chaque jour de la période d'étude et pour chaque commune de la région, la moyenne dans les zones habitées de la commune des maximums journaliers de la moyenne des concentrations sur 8 heures. A partir de ces données, a été ensuite calculé pour chaque commune l'indicateur agrégé SOMO₃₅ utilisé notamment dans les rapports européens sur la qualité de l'air [2] pour représenter l'exposition de la population à l'ozone et proposé par le bureau régional de l'OMS pour l'Europe pour être utilisé dans les EQIS [25]. Cet indicateur somme sur l'année tous les dépassements de la valeur journalière de 70 µg/m³ (= 35 ppb). De la même manière le SOMO₅₀, correspondant à la somme annuelle des dépassements journaliers de la valeur guide de l'OMS de 100 µg/m³ a été calculé.

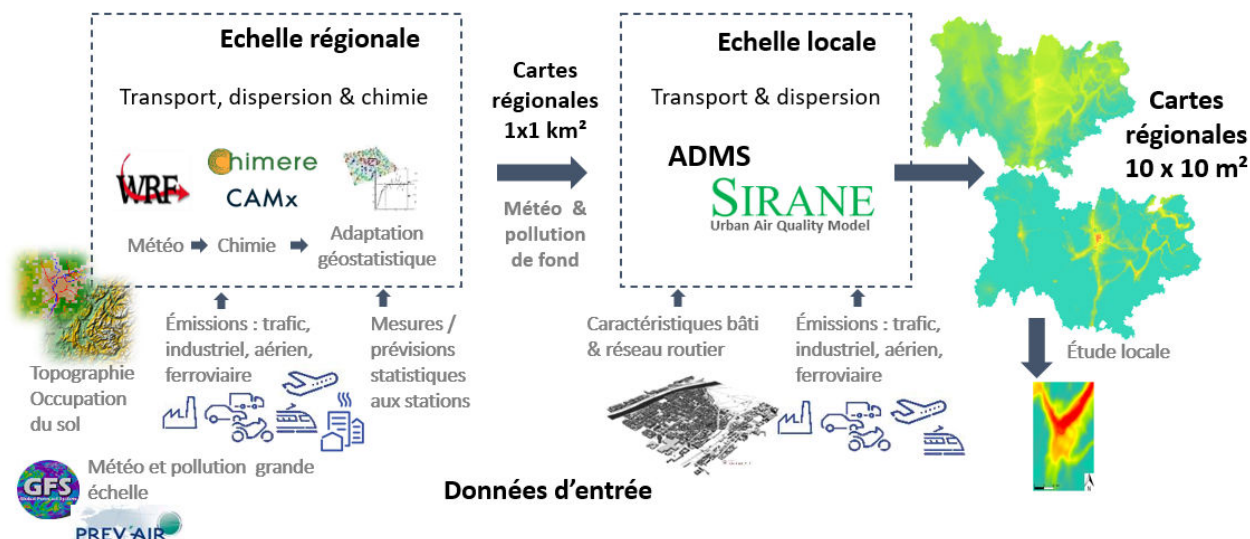
Ces 3 indicateurs ont été ensuite calculés par une moyenne pondérée sur la population communale 2015 à d'autres échelles administratives : (code postal, EPCI, département, région) :

- soit pour représenter l'exposition moyenne de la population à ces échelles ;
- soit pour permettre les calculs d'impact sur la santé pour les indicateurs de santé disponibles seulement au code postal (plus précisément selon le découpage PMSI qui dans certaines situations regroupe plusieurs codes postaux) ;
- ou pour une analyse de sensibilité en réalisant le calcul d'impact sur la santé à une échelle supérieure à celle de la commune.

Cette pondération permet de prendre en compte les zones plus densément peuplées, où l'exposition est supérieure, et de leur donner plus de poids afin d'être le plus représentatif possible de l'exposition moyenne de la population sur le territoire considéré.

I FIGURE N°8 I

Chaînes de modélisation régionale et à fine échelle utilisées pour estimer les concentrations en polluants



Source : Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

2.4 Construction des indicateurs de santé

Mortalité totale

Les données de la mortalité totale des personnes de 30 ans et plus sont produites par le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDc-Inserm) et sont extraites via le Système national des données de santé (SNDS), correspondant aux codes de la Classification internationale des maladies -10^e révision : CIM-10 A00 à Y98. Les années 2013 à 2015 ont été utilisées pour lisser les variations annuelles du nombre de décès par commune (2015 étant l'année la plus récente disponible dans le SNDS au moment de la réalisation de l'étude en 2020).

Incidence de cancer du poumon

Les données d'incidence de cancer du poumon pour tous les âges dans la région sont extraites des données d'une étude précédemment réalisée par Santé publique France, en collaboration avec le réseau français des registres des cancers (Francim), le service de biostatistique-bioinformatique des Hospices civils de Lyon et l'Institut national du cancer [63] qui portait sur les estimations régionales et départementales d'incidence et de mortalité par cancers en France, de 2007 à 2016. Les calculs sont faits à partir de la valeur d'incidence de 2016. Pour tenir compte de la variation des niveaux de pollution au niveau communal, une estimation du nombre de cancers du poumon à cette échelle a été calculée au prorata de la population communale. Ainsi, le calcul d'impact sur la santé a pu être effectué à l'échelle communale puis les résultats ont été agrégés à l'échelle départementale.

Incidence des AVC

L'incidence des AVC pour tous les âges (CIM-10 I60 à I64) est approchée par les hospitalisations pour AVC (en diagnostic principal) de 2016 à 2018, extraites des données du PMSI via le SNDS. Un patient n'est compté qu'une seule fois lors du premier séjour s'il fait plusieurs AVC. Les données

correspondent à la moyenne des effectifs de 2016 à 2018 pour couvrir la même période que celle de l'indicateur d'exposition. Les données étant disponibles par code postal, le calcul d'impact sur la santé a été fait à l'échelle du code postal puis les résultats ont été agrégés à l'échelle départementale.

Hospitalisation pour causes cardiovasculaires et respiratoires

Les données d'hospitalisations pour causes cardiovasculaires (CIM10 : I00-I52) et respiratoires (CIM10 J00-J99) (en diagnostic principal) pour les 65 ans et plus sont extraites du PMSI (via le SNDS). Les données correspondent à la moyenne des effectifs de 2016 à 2018 par département, échelle à laquelle le calcul d'impact sur la santé a été réalisé.

Recours aux urgences pour asthme

Les recours aux urgences pour asthme des 0-15 ans sont extraits de la base de données du Système de surveillance sanitaire des urgences et décès (SurSaUD®), par département. Le système SurSaUD® repose sur quatre sources de données : le réseau Oscour® (via les résumés de passages aux urgences), les données SOS médecins, les données de mortalité venant de l'Insee et les données du CépiDC (Inserm). Pour l'EQIS, seules les données du réseau Oscour® ont été utilisées. Ce réseau regroupe tous les établissements de santé qui disposent d'un service d'accueil des urgences informatisé transmettant quotidiennement les résumés de passages aux urgences (RPU). Les diagnostics médicaux sont codés selon la CIM10 dans le RPU. Cependant, les établissements ne codent pas tous les RPU de façon exhaustive. Ainsi, le nombre de passages pour asthme extrait de cette base dépend du taux de codage de chaque établissement. Un taux moyen de codage inférieur à 60 % a été considéré comme insuffisant dans cette étude, et dans cette situation aucune valeur départementale n'est produite. Lorsque le taux de codage est supérieur à 60 %, le nombre total de passages aux urgences pour asthme du département a été extrapolé à partir de ce taux.

Cette tranche d'âge (0-15 ans) a été choisie au lieu des 0-17 ans, car cette dernière n'est pas disponible dans l'outil de restitution des données de la base SurSaUD®. Le nombre de recours aux urgences correspond à la moyenne des effectifs de 2016 à 2018. Pour tenir compte de la variation des niveaux de pollution au niveau communal, un nombre estimé de recours aux urgences à cette échelle a été calculé au prorata de la population communale. Ainsi, le calcul d'impact sur la santé a pu être effectué à l'échelle communale puis les résultats ont été agrégés à l'échelle départementale.

2.5 Sélection des données démographiques

Les données de population utilisées sont celles de l'année 2015 car ce sont les données les plus récentes avec une distribution par classe d'âge et disponibles dans le découpage administratif de 2018.

2.6 Scénarios de réduction des concentrations en polluants

Les scénarios proposés sont différents selon l'indicateur de pollution étudié, ils permettent d'estimer le bénéfice pour la santé lié à une réduction de l'exposition des populations pour chaque polluant considéré (Tableau 3).

Pour les PM_{2,5} et le NO₂, un scénario visant à estimer le poids total de la pollution liée aux activités anthropiques a été calculé. En l'absence de valeur cible de référence fixant les niveaux de polluants attendus sans activités humaines, la valeur moyenne mesurée par l'une des 12 stations rurales nationales de référence (qui appartiennent à l'Observatoire national de mesure et d'évaluation en zone rurale de la pollution atmosphérique à longue distance, Mera, [64]), située dans la Drôme, a été utilisée. Cette station enregistre les valeurs les plus basses de la région (Tableau 3). Pour les PM_{2,5}, il s'agit d'une valeur proche de celles utilisées dans les évaluations nationales [1, 50].

Cette valeur est également très proche de la valeur guide de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ issue des nouvelles lignes directrices de l'OMS publiées le 22 septembre 2021. Ainsi ce scénario quantifie le bénéfice pour la santé qui serait obtenu dans la situation où aucune des communes de la région ne dépasserait cette valeur de référence. Il correspond donc également à l'atteinte de la nouvelle valeur guide de l'OMS.

Pour les $\text{PM}_{2,5}$, un deuxième scénario a été étudié correspondant au bénéfice sur la santé attendu si l'exposition communale moyenne aux $\text{PM}_{2,5}$ respectait l'ancienne valeur guide recommandée par l'OMS ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) en vigueur au moment de la réalisation de cette étude.

Pour l'ozone, il s'agit de scénarios d'écrtage des maxima journaliers sur 8h dépassant les valeurs de $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ (SOMO_{35}) et celle de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ (SOMO_{50}) correspondant à la valeur guide de l'OMS.

I TABLEAU N°3 I

Scénarios utilisés pour les calculs d'EQIS pour les trois polluants étudiés ($\text{PM}_{2,5}$, NO_2 et ozone)

Indicateur	Type de scénario	Valeur de référence
$\text{PM}_{2,5}$	<u>Scénario 1</u> : Poids total de la pollution	$5,5\mu\text{g}/\text{m}^3^*$
	<u>Scénario 2</u> : Atteinte de l'ancienne valeur guide OMS	$10\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO_2	<u>Scénario 1</u> : Poids total de la pollution	$1,8\mu\text{g}/\text{m}^3^*$
Ozone	<u>Scénario 1</u> : Écrtage de tous les maxima journaliers sur 8h dépassant $70\mu\text{g}/\text{m}^3$	$70\mu\text{g}/\text{m}^3$
	<u>Scénario 2</u> : Pas de dépassement de la valeur guide journalière de l'OMS	$100\mu\text{g}/\text{m}^3$

* Moyenne annuelle 2016-2018, station rurale nationale « Drôme rurale Sud ».

2.7 Échelles de restitution

Les échelles de restitution ont été choisies en adéquation avec l'intérêt pour l'action, la disponibilité des données de santé, le respect de la confidentialité et la possibilité d'interpréter les résultats (Tableau 4).

Pour la mortalité, les résultats sont produits à l'échelle de la région, des départements et à une échelle infra-départementale. S'agissant des EPCI (Annexes 2) et des communes, les résultats ne sont rendus que pour celles et ceux de plus de 20 000 habitants, comme le préconise le guide de Santé publique France [40].

Pour les cancers du poumon et les passages aux urgences pour asthme, compte-tenu de l'origine départementale des données et bien que cela soit techniquement possible, aucun résultat à une échelle infra-départementale n'est produite dans le cadre de cette étude.

Pour les AVC et les hospitalisations pour causes respiratoires et cardiovasculaires, la donnée de santé étant disponible au niveau du découpage PMSI, d'éventuels calculs infra-départementaux plus complexes n'ont pas été réalisés dans le cadre de cette étude.

I TABLEAU N°4 I

Échelles de restitution des résultats selon les couples polluants-effets

Type d'effet	Couple polluant effet	Région	Département	Zone prioritaire	EPCI > 20 000 hab.	Ville > 20 000 hab.
Mortalité long terme	PM _{2,5} – Mortalité	X	X	X	X	X
	NO ₂ – Mortalité	X	X	X	X	X
Morbidité long terme	PM _{2,5} - Incidence du cancer du poumon	X	X			
	PM _{2,5} - Incidence des AVC	X	X			
Morbidité court terme	PM _{2,5} - Passages aux urgences pour asthme chez les enfants	X	X*			
	O ₃ - Hospitalisations pour causes respiratoires	X	X			
	O ₃ - Hospitalisations pour causes cardiovasculaires	X	X			

Hab. : habitants.

* Uniquement pour les départements avec un taux de codage suffisant des données de recours aux urgences.

2.8 Calculs

La majorité des calculs d'impact sur la santé de la pollution de l'air ambiant a été réalisée avec le logiciel AirQ+ version 1.3.1.8, développé par l'OMS et affiné en partenariat avec Santé publique France et des équipes scientifiques internationales [65, 66]. Cet outil a été conçu pour calculer les impacts sur la santé de l'exposition à court et long terme de la pollution de l'air ambiant pour une population et un territoire donné. Pour l'ozone, l'indicateur d'exposition a été calculé avec le logiciel R et les calculs d'impact sur la santé ont été réalisés avec Excel. Les résultats présentés sous forme de cartes ont été réalisés grâce au logiciel QGIS version 3.10.1.

3. RÉSULTATS

3.1 Description de la zone d'étude

La région Auvergne-Rhône-Alpes compte 12 départements, 4 100 communes (découpage 2018) et 7 880 119 habitants (Insee 2015) sur une surface de 69 711 km². La population est répartie de façon inégale entre les départements, le Rhône étant le plus peuplé et le Cantal le moins peuplé.

Les moins de 18 ans, les 30 ans et plus, les 65 ans et plus, représentent respectivement 22 %, 62 % et 19 % de la population régionale.

3.2 Exposition de la population à la pollution de l'air ambiant

Les indicateurs d'exposition communaux utilisés dans cette étude (PM_{2,5} et NO₂) sont construits à partir de la moyenne des concentrations pondérées par la densité de la population résidente. Ces indicateurs visent à traduire au mieux l'exposition moyenne de la population de chaque commune. Concernant l'ozone, les indicateurs annuels sont construits à partir de la moyenne des maximums journaliers de la moyenne des concentrations sur 8 heures dans les zones habitées de chaque commune.

Dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, les populations des grandes agglomérations de la région, celles de la vallée du Rhône, de la Saône et des vallées alpines, sont les plus exposées aux PM_{2,5} et au NO₂.

L'agglomération de Lyon présente les niveaux d'exposition les plus élevés, suivie de celles de Grenoble, d'Annecy et de Chambéry et, de la vallée de l'Arve (Figures 9,10 et 11,12).

Pour l'ozone qui est un polluant secondaire où l'ensoleillement joue un rôle déterminant dans sa formation, ce sont les territoires du sud de la région (Drôme et Ardèche) ainsi que l'est et les zones d'altitude qui présentent les niveaux d'exposition les plus élevés (Figures 13 et 14, Tableau 7).

Exposition de la population aux PM_{2,5}

L'exposition moyenne communale estimée varie de 5 µg/m³ (cette valeur correspond à la valeur guide issue des nouvelles lignes directrices de l'OMS publiées le 22 septembre 2021) pour des communes rurales très éloignées des centres urbains à plus de 15 µg/m³ pour plusieurs arrondissements de Lyon (Tableau 5).

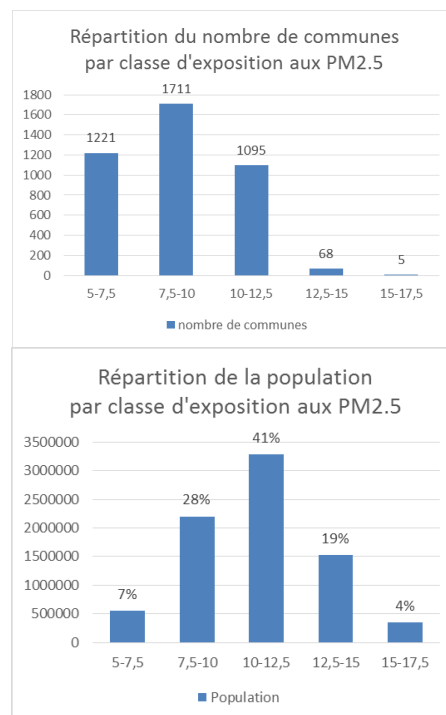
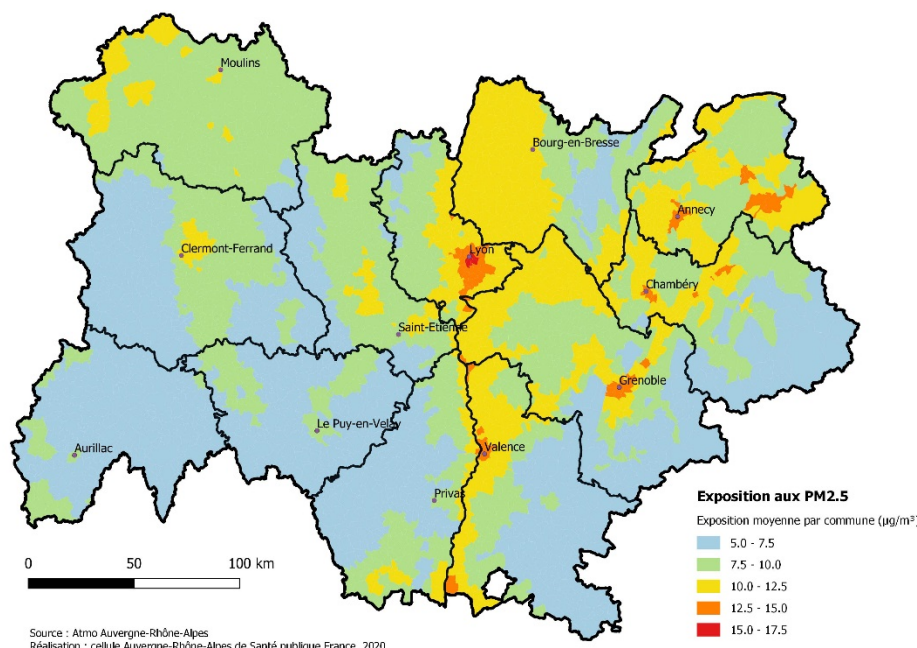
L'exposition moyenne communale estimée est supérieure à l'ancienne valeur guide de l'OMS de 10 µg/m³ pour 28 % des communes mais ces communes regroupent 65 % de la population régionale. Dans le Rhône, la Haute-Savoie et l'Isère, l'exposition communale moyenne est supérieure à 10 µg/m³ pour plus de 80 % de la population (46 à 60% des communes). À l'inverse, dans le Cantal et la Haute-Loire, l'ensemble des communes présente une exposition communale moyenne inférieure à 10 µg/m³.

Parmi les EPCI, 4 présentent une exposition moyenne aux PM_{2,5} supérieure à 12,5 µg/m³, il s'agit de la métropole de Lyon (13,8 µg/m³), de celle de Grenoble (13 µg/m³), de la communauté d'agglomération du Grand Annecy (12,5 µg/m³) et de la communauté de commune Pays du Mont-Blanc (12,5 µg/m³).

Tous les territoires prioritaires de la région voient la majorité de leur population exposée au-delà de la valeur de 10 µg/m³ à l'exception de celui du PPA de Saint-Etienne, la métropole de Saint-Etienne étant également la seule parmi les grandes agglomérations qui présente une exposition moyenne inférieure à l'ancienne valeur guide de l'OMS (9,8 µg/m³). À l'inverse, pour la zone du PPA de Lyon qui présente l'exposition moyenne aux PM_{2,5} la plus élevée (13,5 µg/m³) parmi les territoires prioritaires, c'est la quasi-totalité de la population qui est exposée au-delà de la valeur de 10 µg/m³ (Tableau A4.1 en annexe 4).

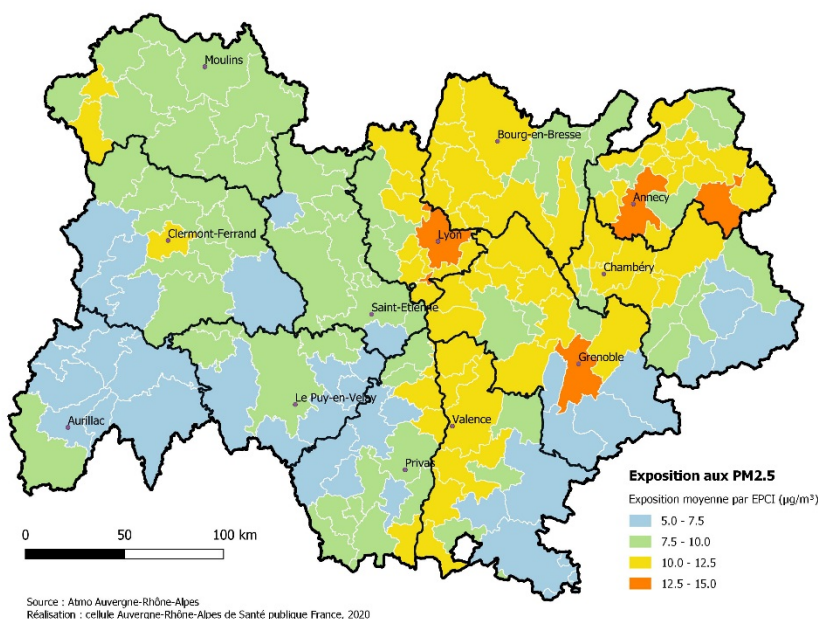
I FIGURE N°9 I

Exposition communale annuelle moyenne de la population aux PM_{2,5}, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018



I FIGURE N°10 I

Exposition annuelle moyenne de la population aux PM_{2,5} par EPCI, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018



I TABLEAU N°5 I

Exposition annuelle moyenne aux PM_{2,5} par département, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Département	Exposition moyenne aux PM _{2,5}			Exposition communale moyenne aux PM _{2,5} > 10 µg/m ³ (ancienne valeur guide OMS)			
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée* µg/m ³	Commune la plus exposée* µg/m ³	Nombre de communes		Population	
				N	%	N	%
Ain	10,2	6	12	245	60	446 921	70
Allier	9,6	6	10,9	37	12	116 877	34
Ardèche	9,3	5	12,9	45	13	92 188	28
Cantal	7,1	5,2	9,3	0	0	0	0
Drôme	10,7	5	13	100	27	387 111	76
Isère	11,4	5,4	14,3	238	46	1 009 764	81
Loire	9,5	5,9	11,7	43	13	219 951	29
Haute-Loire	7,5	5	9,1	0	0	0	0
Puy-de-Dôme	9,2	5	10,9	17	4	232 562	36
Rhône	13,0	7	15,6	153	53	1 681 941	92
Savoie	10,9	5,9	13,2	122	43	302 646	70
Haute-Savoie	11,4	7	13,7	168	60	667 583	83
Région	10,9	5	15,6	1 168	28	5 157 544	65

*Arrondissement pour la ville de Lyon

Exposition au NO₂

L'exposition au NO₂ est plus importante dans les grandes agglomérations et sur les axes routiers majeurs de la région (Figures 11 et 12).

L'exposition moyenne communale varie de 4 µg/m³ pour quelques communes rurales de la Drôme à plus de 30 µg/m³ pour plusieurs arrondissements de Lyon. Néanmoins, cette exposition moyenne peut masquer de fortes disparités d'exposition au sein de la commune, le NO₂ étant présent en plus forte concentration à proximité des axes routiers.

Pour un peu plus de la moitié des communes (54 %), l'exposition communale moyenne est inférieure à 10 µg/m³ mais ces communes ne comptent que 17 % de la population. A l'inverse, 2 % des communes présentent une exposition moyenne communale supérieure à 20 µg/m³ mais représentent 31 % de la population régionale.

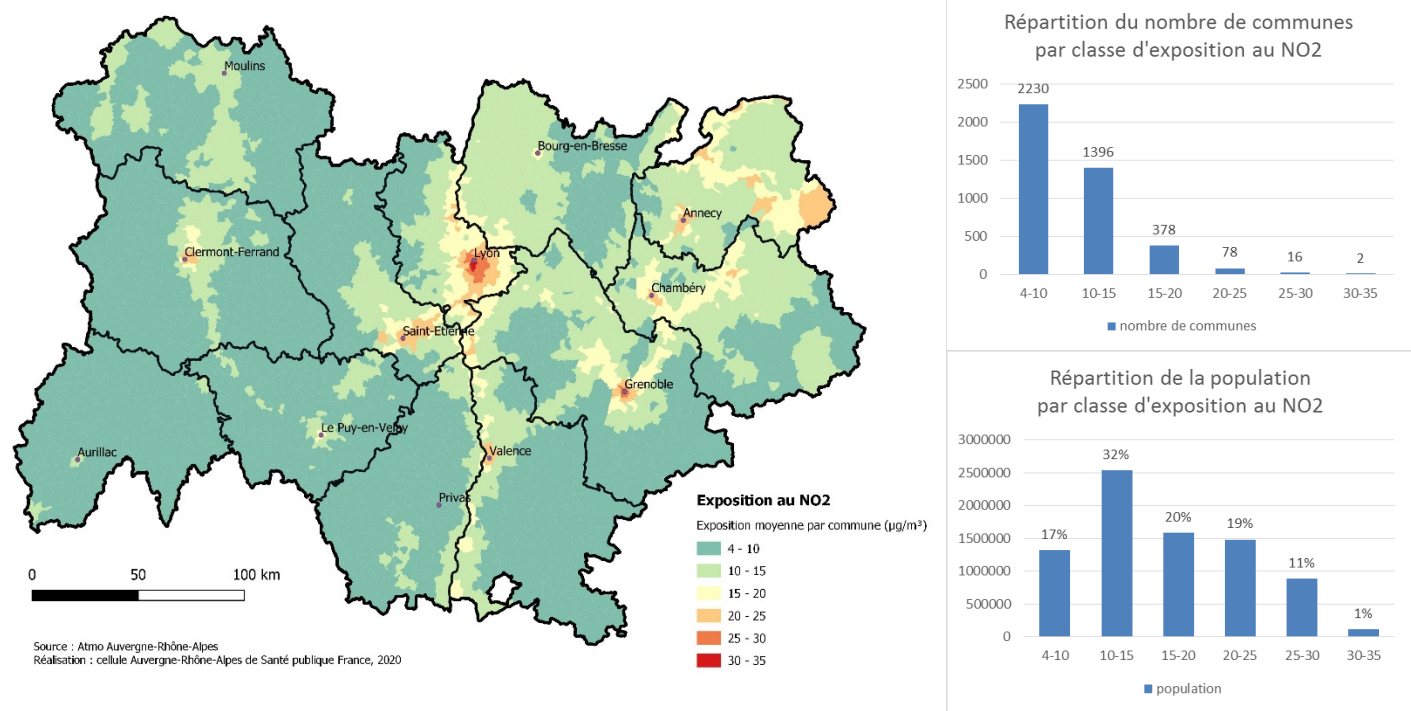
La population du Rhône est la plus exposée avec une exposition moyenne de 23,2 µg/m³, celle du Cantal est la moins exposée avec une exposition moyenne de 8,9 µg/m³ (Tableau 6).

Parmi les EPCI, la métropole de Lyon présente l'exposition moyenne la plus importante (25,8 µg/m³) suivie de celle de Grenoble (22,3 µg/m³) et de la communauté d'agglomération d'Annemasse (22,3 µg/m³).

Parmi les territoires prioritaires (Tableau A4.2 en annexe 4), c'est également celui du PPA de Lyon qui présente l'exposition moyenne la plus importante (24,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) suivi de celui du PLQA de Chambéry (20,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et de celui du PLQA d'Annecy (20,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

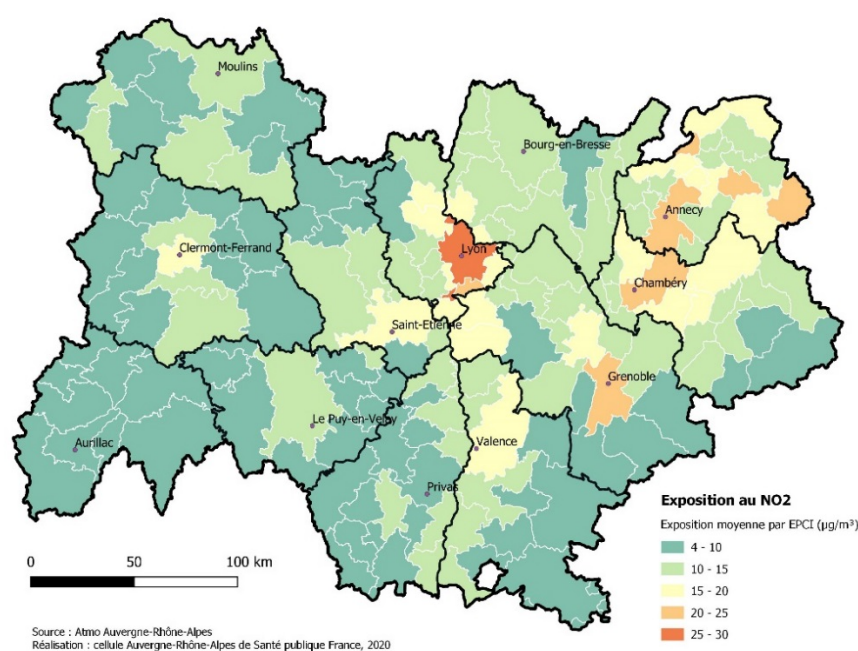
I FIGURE N°11 I

Exposition annuelle moyenne communale de la population au NO₂ Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018



I FIGURE N°12 I

Exposition annuelle moyenne de la population au NO₂ par EPCI, Auvergne-Rhône-Alpes , 2016-2018



I TABLEAU N°6 I

Exposition moyenne annuelle au NO₂ par département, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Exposition moyenne au NO ₂			
Département	Ensemble de la zone	Commune la moins exposée*	Commune la plus exposée*
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Ain	13,0	6,0	20,0
Allier	10,8	6,0	13,9
Ardèche	10,9	6,0	19,3
Cantal	8,9	6,0	11,1
Drôme	13,6	4,0	20,8
Isère	16,6	5,0	26,7
Loire	14,9	5,0	24,5
Haute-Loire	10,1	6,0	15,5
Puy-de-Dôme	13,3	5,0	20,9
Rhône	23,2	6,0	33,5
Savoie	16,3	6,3	24,3
Haute-Savoie	17,8	8,0	24,7
Région	16,5	4,0	33,5

*Arrondissement pour la ville de Lyon

Exposition à l'ozone

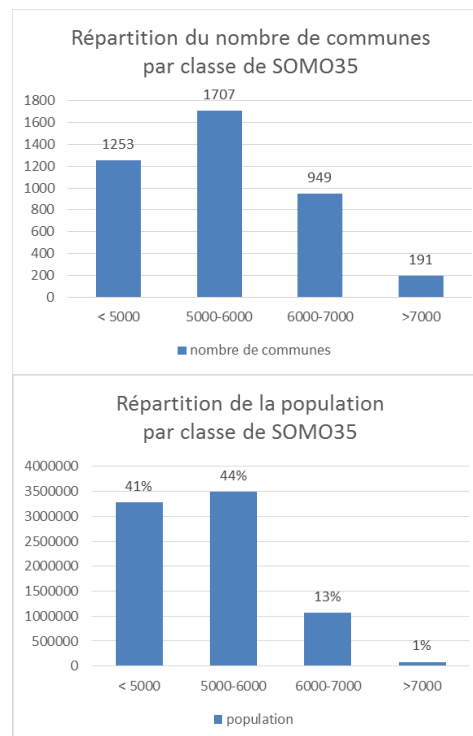
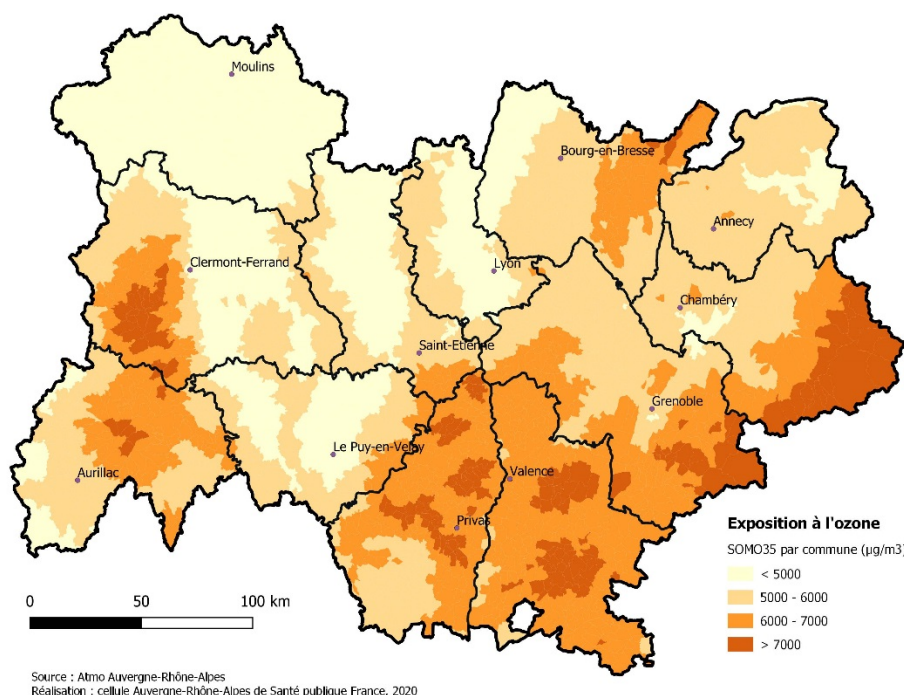
Pour l'ozone, les communes les plus exposées se situent au sud de la région, à l'est et dans les zones d'altitude. Contrairement à l'exposition aux PM_{2,5} et au NO₂, les grandes agglomérations de la région sont moins exposées que les zones semi-urbaines ou plus rurales qui les entourent (Figures 13 et 14).

L'ensemble des communes de la région présente des dépassements journaliers de la valeur guide de l'OMS (100 µg/m³ en maximum journalier de la moyenne glissante sur 8h). Le cumul de ces dépassements (SOMO₅₀) sur l'année varie de 446 µg/m³ pour une commune limitrophe du Puy-en-Velay en Haute-Loire à 1 994 µg/m³ pour une commune de la vallée du Rhône située au nord de l'Ardèche.

L'Ardèche et la Drôme présentent les niveaux d'exposition moyens les plus élevés. À l'inverse, l'Allier présente le niveau d'exposition moyen le plus faible (Tableau 7).

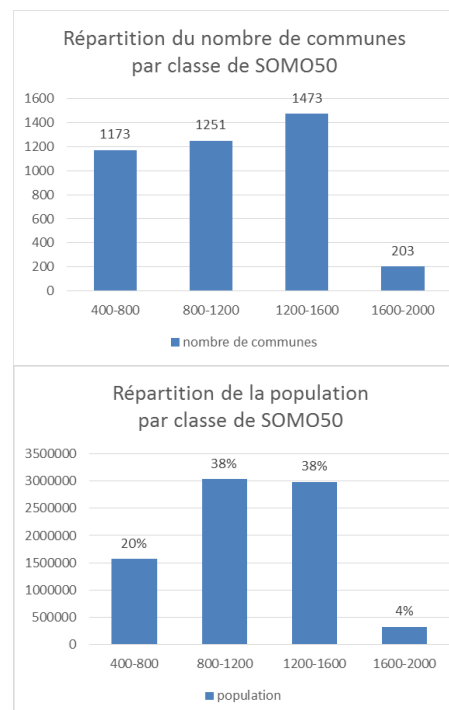
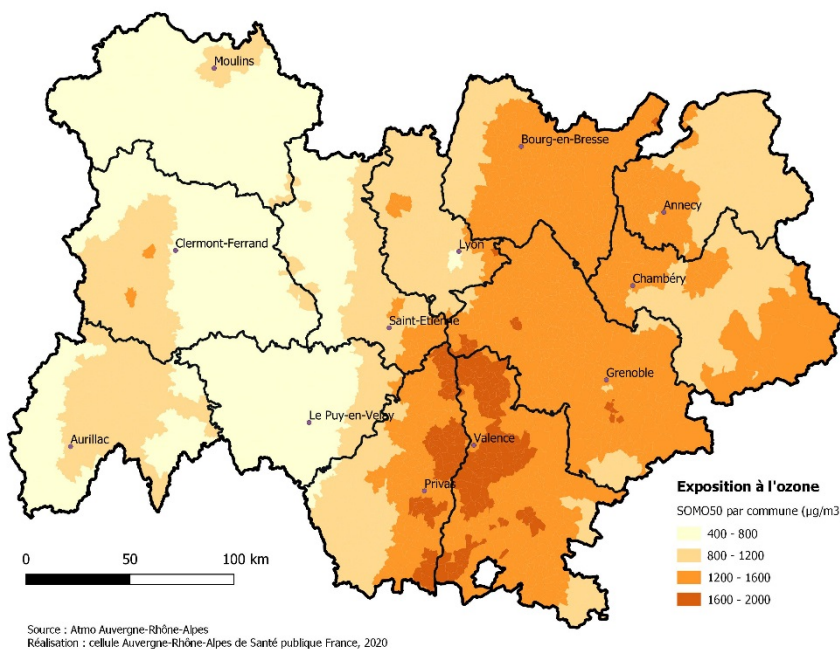
I FIGURE N°13 I

Exposition annuelle communale de la population à l'ozone (SOMO₃₅), Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018



I FIGURE N°14 I

Exposition annuelle communale de la population à l'ozone (SOMO₅₀), Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018



I TABLEAU N°7 I

Indicateurs d'exposition à l'ozone (SOMO₃₅ et SOMO₅₀) par département en Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Département	SOMO ₃₅			SOMO ₅₀		
	Ensemble de la zone	Commune la moins exposée *	Commune la plus exposée *	Ensemble de la zone	Commune la moins exposée*	Commune la plus exposée*
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Ain	5 508	4 115	7 482	1 306	918	1 743
Allier	4 198	3 626	5 852	682	555	887
Ardèche	6 297	5 033	7 820	1 431	727	1 994
Cantal	5 614	4 331	7 302	811	658	1 110
Drôme	6 260	5 666	8 066	1 577	988	1 790
Isère	5 471	4 786	9 008	1 324	1 114	1 792
Loire	4 929	3 973	6 905	936	633	1 531
Haute-Loire	4 875	3 991	6 796	654	446	1 203
Puy-de-Dôme	4 792	4 139	8 325	701	539	1 319
Rhône	4 601	3 597	6 112	972	609	1 641
Savoie	5 479	4 672	8 816	1 223	923	1 523
Haute-Savoie	5 283	4 609	6 080	1 165	832	1 379
Région	5 161	3 597	9 008	1 095	446	1 994

*Arrondissement pour la ville de Lyon

3.3 Évènements sanitaires observés

Les tableaux 9 à 12 présentent les effectifs et taux au niveau régional et au niveau départemental pour chaque indicateur de santé, calculés sur la population cible des couples polluants – effets utilisés dans l'EQIS.

S'agissant du recours aux urgences pour asthme, les données brutes par département de recours aux urgences extraits de la base SurSaUD® présentent une variabilité importante des taux de codage des RPU comme le montre le tableau 8, s'échelonnant de 23 % en Haute-Loire à près de 90 % pour l'Isère le Rhône et la Haute-Savoie.

Une extrapolation à partir de ces taux de codage a permis d'obtenir un nombre estimé (N extrapolé) de recours aux urgences pour asthme dans les départements pour lesquels le taux de codage est supérieur à 60 % y compris pour le Puy-de-Dôme dont le taux de codage est très proche de 60 %. Ainsi, les résultats des passages aux urgences pour asthme ne sont retenus que pour les départements de l'Ain, la Drôme, l'Isère, la Loire, le Puy-de-Dôme, le Rhône et la Haute-Savoie qui représentent cependant 83 % de la population des 0-17 ans de la région permettant ainsi une extrapolation au niveau régional grâce au calcul suivant :

$$\frac{\sum(\text{recours aux urgences des départements})}{\sum(\text{populations 0-17 ans des départements})} \times \text{Population 0 – 17 ans régionale}$$

Les départements pris en compte dans ce calcul sont ceux pour lesquels le taux de codage est supérieur à 60 % et le Puy-de-Dôme.

I TABLEAU N°8 I

Passages aux urgences pour asthme (N) par département en Auvergne-Rhône-Alpes, moyenne annuelle, 2016-2018

Département	N	Taux de codage (%)	N extrapolé
Ain	557	79,1	705
Allier	39	52,8	
Ardèche	141	32,3	
Cantal	30	44,5	
Drôme	661	69,7	945
Isère	1 717	88,9	1 932
Loire	830	82,6	1 002
Haute-Loire	95	23,3	
Puy-de-Dôme	467	59,4	787
Rhône	2 662	89,1	2 988
Savoie	209	40,2	
Haute-Savoie	962	90,7	1 062
Région	8 370		11 340

I TABLEAU N°9 I

Nombre d'événements de santé (moyenne annuelle), population cible et taux pour 1 000 personnes, Auvergne-Rhône-Alpes

Événement de santé (population cible)	Nombre	Années	Population cible	Part de la population cible parmi la population totale	Taux pour 1 000 personnes
Décès (30 ans et plus)	63 800	2013-2015	4 862 256	62 %	13,1
Cancers du poumon (tous âges)	4 492	2016-2018	7 880 119	100 %	0,6
AVC (tous âges)	12 698	2016-2018	7 880 119	100 %	1,6
Passages aux urgences pour asthme (0-17 ans)	11 340	2016-2018	1 754 207	22 %	6,5
Hospitalisations respiratoires (65 ans et plus)	78 274	2016-2018	1 507 681	19 %	51,9
Hospitalisations cardiovasculaires (65 ans et plus)	189 921	2016-2018	1 507 681	19 %	126,0

I TABLEAU N°10 I

Nombre moyen annuel de décès (N), population cible et taux pour 1 000 personnes par département, Auvergne-Rhône-Alpes, 2013-2015

Département	Population 30 ans et plus	Décès	
		N	Taux pour 1 000 personnes
Ain	384 037	4 572	11,9
Allier	229 867	4 260	18,5
Ardèche	209 850	3 455	16,5
Cantal	98 469	1 981	20,1
Drôme	317 685	4 375	13,8
Isère	758 153	8 748	11,5
Loire	480 164	7 269	15,1
Haute-Loire	147 611	2 486	16,8
Puy-de-Dôme	407 932	6 067	14,9
Rhône	1 068 539	12 111	11,3
Savoie	269 844	3 456	12,8
Haute-Savoie	490 105	5 021	10,2

I TABLEAU N°11 I

Nombre moyen annuel d'événements sanitaires (N) à long terme, population cible et taux pour 1 000 personnes par département, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Département	Population Tous âges	Cancers du poumon		AVC	
		N	Taux pour 1 000 personnes	N	Taux pour 1 000 personnes
Ain	631 877	327	0,52	941	1,49
Allier	341 623	252	0,74	767	2,25
Ardèche	324 209	209	0,65	583	1,80
Cantal	146 249	102	0,70	319	2,18
Drôme	504 637	311	0,62	848	1,68
Isère	1 251 060	705	0,56	1 870	1,49
Loire	760 411	453	0,60	1 344	1,77
Haute-Loire	227 034	123	0,54	404	1,78
Puy-de-Dôme	647 581	414	0,64	1 012	1,56
Rhône	1 822 995	1 003	0,55	2 641	1,45
Savoie	428 204	215	0,50	833	1,94
Haute-Savoie	794 238	377	0,48	1 136	1,43

I TABLEAU N°12 I

Nombre moyen annuel d'événements sanitaires (N) à court terme, population cible et taux pour 1 000 personnes par département, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Département	Population	Passages aux urgences pour asthme		Population	Hospitalisations respiratoires		Hospitalisations cardiovasculaires	
	0-17 ans	N	Taux pour 1 000 personnes	65 ans et plus	N	Taux pour 1 000 personnes	N	Taux pour 1 000 personnes
Ain	154 746	705	4,55	108 782	5 310	49	12 239	113
Allier	64 027			88 233	4 357	49	11 538	131
Ardèche	67 535			76 691	4 076	53	8 670	113
Cantal	25 362			39 236	2 573	66	6 341	162
Drôme	114 797	945	8,23	106 112	5 160	49	13 070	123
Isère	290 712	1 932	6,64	219 588	12 287	56	31 002	141
Loire	168 409	1 002	5,95	164 398	8 831	54	22 013	134
Haute-Loire	47 909			52 091	3 165	61	7 520	144
Puy-de-Dôme	128 522	787	6,12	135 051	6 442	48	16 095	119
Rhône	414 887	2 988	7,20	304 327	15 987	53	36 940	121
Savoie	91 994			84 120	4 274	51	11 564	137
Haute-Savoie	185 307	1 062	5,73	129 052	5 811	45	12 927	100

3.4 Impact des PM_{2,5} et du NO₂ sur la mortalité, l'incidence des cancers du poumon et des AVC et le recours aux urgences pour asthme

En appliquant les RR recommandés dans le guide EQIS-PA de Santé publique France à l'exposition moyenne de la population aux PM_{2,5} et au NO₂ calculée pour chaque commune de la région, on estime que chaque année en Auvergne-Rhône-Alpes près de **4 300** décès seraient attribuables à une exposition de la population aux PM_{2,5} et **1 960** décès à une exposition de la population au NO₂. Ainsi, l'exposition de la population aux PM_{2,5} et au NO₂ serait responsable, respectivement de 6,7 % et 3,1 % de la mortalité annuelle (Tableau 13). Ces deux résultats ne peuvent cependant pas être additionnés compte-tenu de phénomènes de double comptage de ces deux indicateurs de pollution.

Dans les mêmes conditions, on estime que chaque année dans la région, près de 200 cancers incidents du poumon, 780 AVC et 550 passages aux urgences pour asthme chez des enfants de 0 à 15 ans seraient attribuables à une exposition de la population aux PM_{2,5} représentant respectivement 4,4 %, 6,1 % et 5,2 % du nombre d'événements de santé annuels pour la population considérée.

Le respect de l'ancienne valeur guide de l'OMS de 10 µg/m³ pour les PM_{2,5} dans l'ensemble des communes qui dépassent actuellement cette valeur (28 % des communes) permettrait de réduire la mortalité annuelle régionale de 1,6 % soit 1 029 décès ainsi que 1,1 % de cancers incidents du poumon, 1,5 % d'AVC et 1,4 % de passages aux urgences pour asthme chez les 0-15 ans soit respectivement 51 cancers, 190 AVC et 145 passages aux urgences pour asthme.

I TABLEAU N°13 I

Nombre moyen annuel (N) et part d'événements de santé attribuables à long terme (%) aux PM_{2,5} et au NO₂ selon plusieurs scénarios, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Événements de santé		PM _{2,5}						NO ₂		
		Atteinte de la valeur de 10 µg/m ³			Poids total de la pollution			Poids total de la pollution		
		N	IC95%	Part (%)	N	IC95%	Part (%)	N	IC95%	Part (%)
Long terme	Mortalité	1 029	[364 ; 1 621]	1,6	4 301	[1 543 ; 6 701]	6,7	1 964	[697 ; 3 104]	3,1
	Incidence de cancers du poumon	51	[23 ; 77]	1,1	200	[92 ; 300]	4,4			
	Incidence des AVC	190	[62 ; 318]	1,5	777	[256 ; 1 283]	6,1			
Court terme	Recours aux urgences pour asthme	145	[18 ; 257]	1,4	548	[72 ; 995]	5,2			

Les départements comptant le plus de décès attribuables à la pollution sont ceux qui sont les plus peuplés et qui présentent également les niveaux de pollution les plus élevés de la région : **Rhône, Isère et Haute-Savoie** quel que soit le polluant et le scénario étudié (Tableau 14). Ces trois départements comportent au moins une zone prioritaire.

Le Rhône regroupe à lui seul près de la moitié des décès attribuables à la pollution aux PM_{2,5} de la région sous le scénario « atteinte de la valeur de 10 µg/m³ » avec 489 décès évitables et plus d'un quart des décès de la région sous le scénario « poids total de la pollution » pour les deux indicateurs de pollution (PM_{2,5} : 1 172 décès attribuables ; NO₂ : 559 décès attribuables). Le Cantal et la Haute-Loire sont les départements les moins touchés de la région (Tableau 14).

Les impacts sur la santé par département liés aux autres événements de santé (cancer du poumon, AVC, passages aux urgences pour asthme chez les enfants de 0 à 15 ans) présentent les mêmes caractéristiques territoriales (Annexe 1).

Les grandes agglomérations de l'est de la région, plusieurs EPCI de la vallée du Rhône et des vallées alpines présentent les parts de décès attribuables aux PM_{2,5} et au NO₂ les plus importantes et jusqu'à 10,9 % (PM_{2,5}) et 5,3% (NO₂) pour la métropole de Lyon sous le scénario « poids total de la pollution » (Figures 15 à 17). L'ensemble des résultats pour les EPCI et les communes de plus de 20 000 habitants sont présentés respectivement en Annexes 2 et 3.

Enfin, les zones prioritaires de la région (Figure 18, Annexe 4) qui représentent 52 % de la population régionale, totalisent 59 % des décès attribuables aux PM_{2,5} et 62 % des décès attribuables au NO₂ sous le scénario « poids total de la pollution » et, 81 % des décès attribuables aux PM_{2,5} sous le scénario « atteinte de la valeur de 10 µg/m³ ». Parmi les territoires prioritaires, celui du PPA de Lyon qui cumule, les niveaux d'exposition les plus élevés et la population la plus importante, représente 42 % de l'ensemble des décès des zones prioritaires attribuables au NO₂ et aux PM_{2,5} sous le scénario « poids total de la pollution » (Figure 18) et, 58 % des décès attribuables aux PM_{2,5} sous le scénario « atteinte de la valeur de 10 µg/m³ ».

I TABLEAU N°14 I

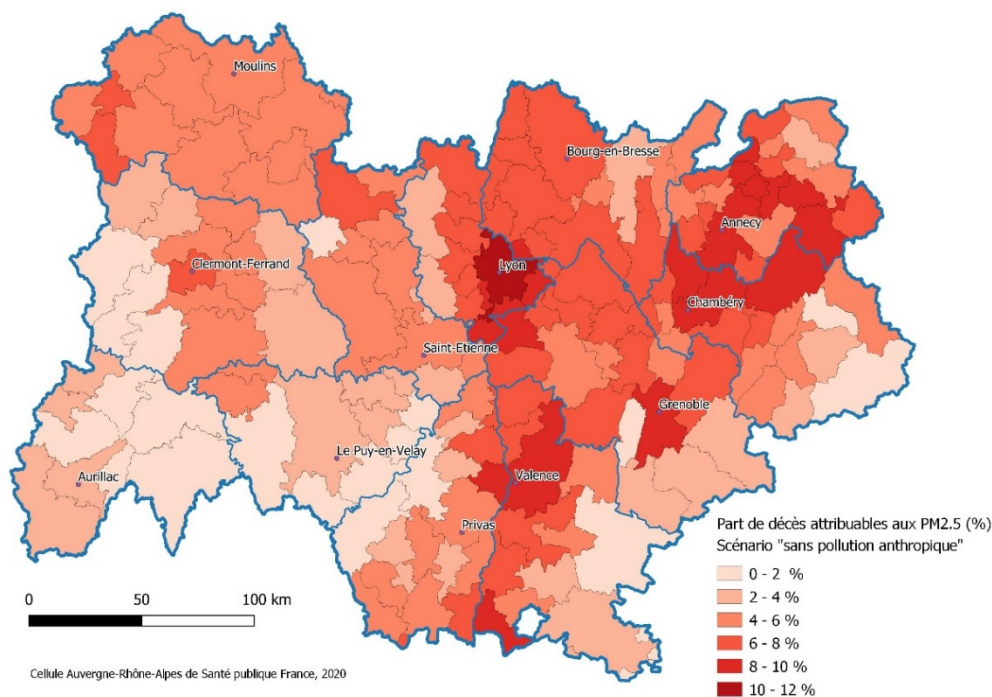
Nombre moyen annuel de décès (N) et part de décès attribuables (%) aux PM_{2,5} et au NO₂ selon différents scénarios, par département, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Département	PM _{2,5}						NO ₂		
	Atteinte de la valeur de 10 µg/m ³			Poids total de la pollution			Poids total de la pollution		
	N	IC95%	Part (%)	N	IC95%	Part (%)	N	IC95%	Part (%)
Ain	38	[13 ; 60]	0,8	289	[103 ; 452]	6,3	112	[40 ; 178]	2,5
Allier	8	[3 ; 13]	0,2	237	[84 ; 371]	5,6	88	[31 ; 140]	2,1
Ardèche	22	[8 ; 34]	0,6	172	[61 ; 270]	5,0	70	[25 ; 111]	2,0
Cantal	0	[0 ; 0]	0,0	43	[15 ; 68]	2,2	32	[11 ; 50]	1,6
Drôme	68	[24 ; 107]	1,5	298	[107 ; 465]	6,8	114	[40 ; 181]	2,6
Isère	192	[68 ; 304]	2,2	681	[245 ; 1 060]	7,8	287	[102 ; 454]	3,3
Loire	15	[5 ; 24]	0,2	397	[141 ; 623]	5,5	214	[76 ; 339]	2,9
Haute-Loire	0	[0 ; 0]	0,0	66	[23 ; 104]	2,6	46	[16 ; 73]	1,8
Puy-de-Dôme	14	[5 ; 22]	0,2	283	[101 ; 445]	4,7	145	[51 ; 230]	2,4
Rhône	489	[174 ; 768]	4,0	1 172	[424 ; 1 813]	9,7	559	[199 ; 880]	4,6
Savoie	70	[25 ; 111]	2,0	258	[92 ; 402]	7,5	114	[40 ; 180]	3,3
Haute-Savoie	113	[40 ; 179]	2,3	403	[145 ; 627]	8,0	182	[65 ; 287]	3,6

IC 95% : Intervalle de confiance à 95%.

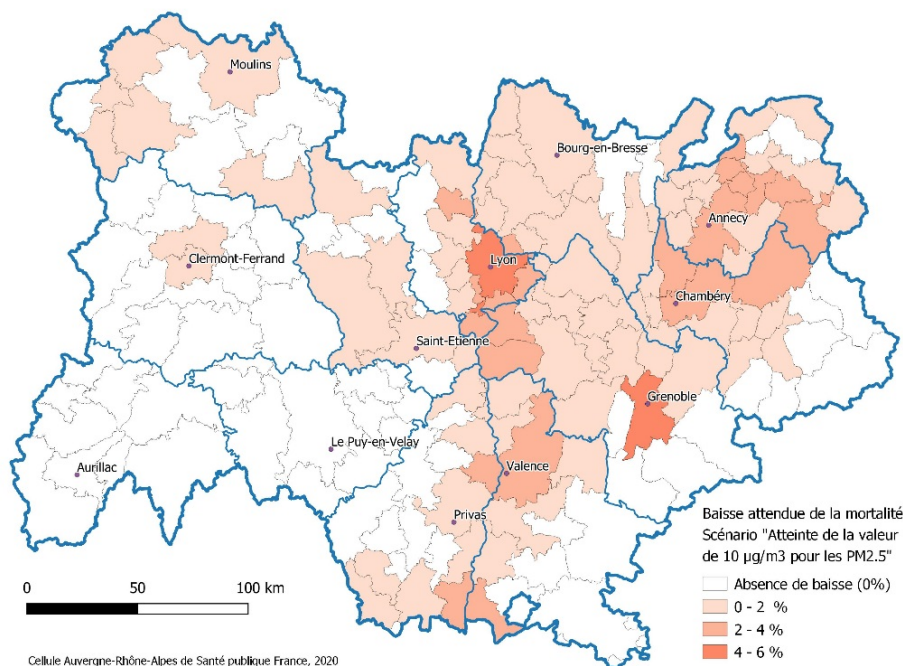
I FIGURE N°15 I

Part de décès attribuables aux PM_{2,5} par EPCI en Auvergne-Rhône-Alpes, sous le scénario « poids total de la pollution », 2016-2018



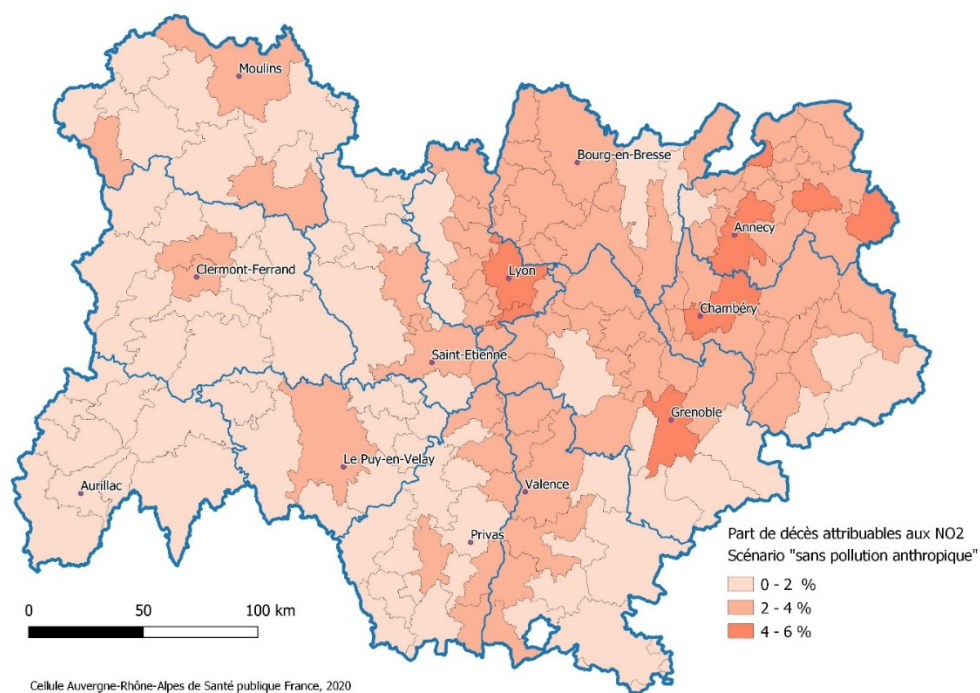
I FIGURE N°16 I

Part de décès attribuables aux PM_{2,5} par EPCI en Auvergne-Rhône-Alpes, sous le scénario « atteinte de la valeur de 10 µg/m³ », 2016-2018



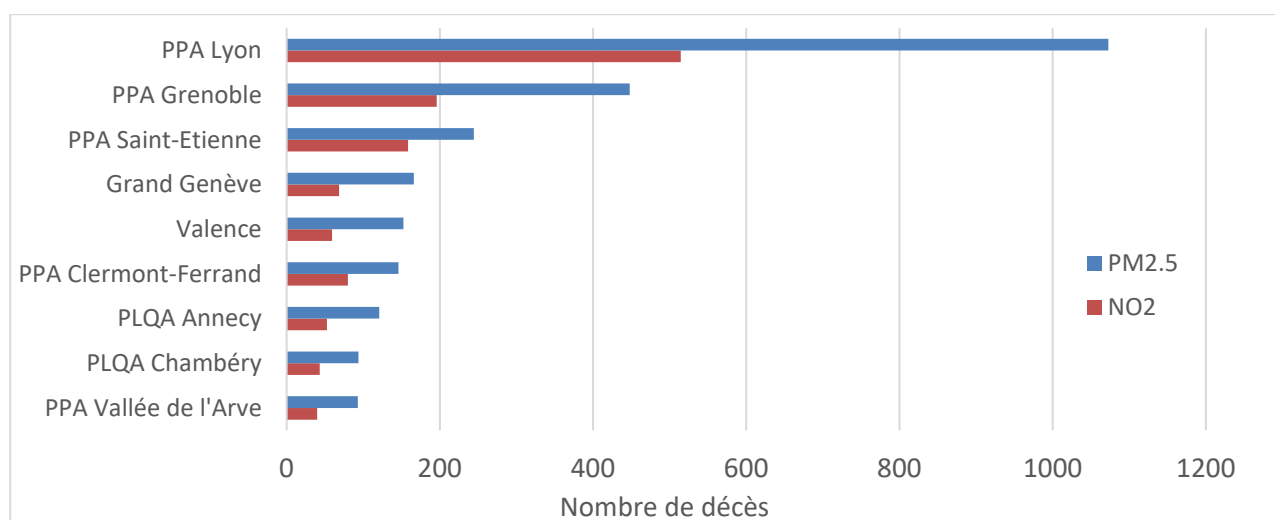
I FIGURE N°17 I

Part de décès attribuables au NO₂ par EPCI sous le scénario « poids total de la pollution », Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018



I FIGURE N°18 I

Nombre de décès attribuables aux PM_{2,5} et au NO₂ par zone prioritaire sous le scénario « poids total de la pollution », Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018



3.5 Impact à court terme de l'ozone

Pour l'ozone, l'analyse a porté sur l'impact sur la santé à court terme, pour les personnes âgées de 65 ans et plus, du cumul annuel des dépassements journaliers de la valeur guide de l'OMS de 100 µg/m³ (SOMO₅₀) et de la valeur de 70 µg/m³ (SOMO₃₅) proposée par l'OMS pour la réalisation d'EQIS. Ainsi, on estime que, chez les personnes de 65 ans et plus, 897 hospitalisations pour causes cardiovasculaires et 236 hospitalisations pour causes respiratoires seraient attribuables aux dépassements de la valeur journalière de 70 µg/m³ et, 187 hospitalisations pour causes cardiovasculaires et 50 hospitalisations pour causes respiratoires seraient attribuables aux dépassements de la valeur journalière de la valeur guide de l'OMS de 100 µg/m³ (Tableau 15).

I TABLEAU N°15 I

Nombre moyen annuel d'hospitalisations pour causes respiratoires et cardiovasculaires (N,) et part (%) attribuables à court terme à l'ozone par département selon deux scénarios, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

	Département	SOMO ₃₅			SOMO ₅₀		
		N	IC95%	Part attribuable (%)	N	IC95%	Part attribuable (%)
Hospitalisations pour causes respiratoires	Ain	18	[3 ; 33]	0,66%	4	[1 ; 8]	0,16%
	Allier	10	[2 ; 20]	0,50%	2	[0 ; 3]	0,08%
	Ardèche	15	[2 ; 29]	0,75%	3	[1 ; 7]	0,17%
	Cantal	8	[1 ; 15]	0,67%	1	[0 ; 2]	0,10%
	Drôme	17	[3 ; 32]	0,75%	4	[1 ; 8]	0,19%
	Isère	37	[6 ; 70]	0,66%	9	[1 ; 17]	0,16%
	Loire	24	[4 ; 45]	0,59%	5	[1 ; 9]	0,11%
	Haute-Loire	9	[1 ; 16]	0,58%	1	[0 ; 2]	0,08%
	Puy-de-Dôme	16	[3 ; 31]	0,58%	2	[0 ; 5]	0,08%
	Rhône	47	[8 ; 89]	0,55%	10	[2 ; 19]	0,12%
	Savoie	14	[2 ; 26]	0,65%	3	[0 ; 6]	0,15%
	Haute-Savoie	21	[3 ; 39]	0,63%	5	[1 ; 9]	0,14%
	Région	236	[38 ; 444]	0,62%	50	[8 ; 94]	0,13%
Hospitalisations pour causes cardio-vasculaires	Ain	66	[37 ; 94]	1,32%	16	[9 ; 22]	0,31%
	Allier	50	[28 ; 71]	1,01%	8	[5 ; 12]	0,16%
	Ardèche	47	[27 ; 68]	1,50%	11	[6 ; 16]	0,34%
	Cantal	33	[19 ; 47]	1,35%	5	[3 ; 7]	0,20%
	Drôme	59	[33 ; 84]	1,51%	15	[8 ; 21]	0,38%
	Isère	152	[86 ; 216]	1,32%	37	[21 ; 53]	0,32%
	Loire	92	[52 ; 131]	1,18%	17	[10 ; 25]	0,22%
	Haute-Loire	31	[18 ; 45]	1,17%	4	[2 ; 6]	0,16%
	Puy-de-Dôme	80	[45 ; 113]	1,16%	12	[7 ; 17]	0,17%
	Rhône	163	[92 ; 231]	1,11%	35	[19 ; 49]	0,24%
	Savoie	54	[30 ; 76]	1,31%	12	[7 ; 17]	0,30%
	Haute-Savoie	71	[40 ; 100]	1,27%	16	[9 ; 22]	0,28%
	Région	897	[507 ; 1 276]	1,24%	187	[106 ; 267]	0,26%

IC 95% : Intervalle de confiance à 95%.

3.6 Analyses de sensibilité

Influence de l'échelle de calcul

Pour estimer l'impact des PM_{2,5} sur la mortalité à l'échelle de l'EPCI ou du département, les calculs ont été réalisés à l'échelle de la commune à partir des indicateurs d'exposition et de santé communaux puis les résultats ont été sommés pour les communes concernées à l'échelle de l'EPCI ou du département.

Cette analyse de sensibilité compare les résultats qui seraient obtenus si le calcul d'impact sur la santé avait été réalisé directement à l'échelle de l'EPCI (Tableau 16) ou du département (Tableau 17), à partir d'indicateurs d'exposition à ces échelles obtenus par la moyenne pondérée sur la population des indicateurs d'exposition communaux et, de la somme des événements de santé communaux.

La comparaison montre que pour le scénario poids total, les résultats sont très proches. Les résultats sont également proches pour le scénario « atteinte de la valeur de 10 µg/m³ » lorsque toutes les communes d'une EPCI ont une exposition communale supérieure à 10 µg/m³. En revanche, pour les EPCI qui ne répondent pas à cette condition et a fortiori pour les départements, les résultats diffèrent et peuvent même atteindre 100 % de différence lorsque l'exposition moyenne au niveau de l'EPCI ou du département est inférieure à la valeur de 10 µg/m³ alors que l'exposition moyenne de certaines communes appartenant à l'EPCI ou au département est supérieure à la valeur de 10 µg/m³.

I TABLEAU N°16 I

Comparaison des analyses principale (calculs d'impact sur la santé à l'échelle de la commune) et de sensibilité (calcul d'impact sur la santé à l'échelle de l'EPCI) concernant le nombre de décès attribuables aux PM_{2,5} pour les EPCI de plus de 100 000 habitants, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

EPCI	Exposition moyenne aux PM _{2,5} (µg/m ³)	Population exposée à des concentrations >10 µg/m ³ (%)	Atteinte de la valeur de 10 µg/m ³		Poids total de la pollution	
			Principale	Sensibilité	Principale	Sensibilité
			N	N	N	N
CA Loire Forez Agglomération	9,0	21,7	0	0	44	46
CA Porte de l'Isère (CAPI)	11,3	94,0	11	10	45	44
CA Roannais Agglomération	9,8	59,7	6	0	64	62
CA Valence Romans Agglo	11,5	92,7	43	40	152	151
CA du Bassin de Bourg-en-Bresse	10,6	84,6	12	9	76	76
CA du Grand Annecy	12,5	92,7	47	44	121	119
CA du Grand Chambéry	12,3	89,9	34	32	94	93
CC Le Grésivaudan	11,0	72,4	11	9	46	46
Clermont Auvergne Métropole	10,3	87,1	14	8	145	147
Grenoble-Alpes-Métropole	13,0	96,3	122	121	293	294
Métropole de Lyon	13,8	62,6	450	459	959	968
Saint-Etienne Métropole	9,8	28,0	8	0	229	226

N : Nombre de décès annuels attribuables à l'exposition aux PM_{2,5}

CA : Communauté d'agglomération ; CC : Communauté de communes

I TABLEAU N°17 I

Comparaison des analyses principale (calculs d'impact sur la santé à l'échelle de la commune) et de sensibilité (calcul d'impact sur la santé à l'échelle du département) concernant le nombre de décès (N) attribuables aux PM_{2,5} pour les départements d'Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Département	Exposition moyenne aux PM _{2,5} (µg/m ³)	Population exposée à des concentrations >10 µg/m ³ (%)	Atteinte de la valeur de 10 µg/m ³		Poids total de la pollution	
			Principale	Sensibilité	Principale	Sensibilité
			N	N	N	N
Ain	10,2	70,7	38	11	289	289
Allier	9,6	37,3	8	0	237	235
Ardèche	9,3	28,6	22	0	172	177
Cantal	7,1	0,0	0	0	43	43
Drôme	10,7	76,7	68	44	298	308
Isère	11,4	81,3	192	169	681	692
Loire	9,5	31,4	15	0	397	397
Haute-Loire	7,5	0,0	0	0	66	68
Puy-de-Dôme	9,2	43,0	14	0	283	306
Rhône	13,0	92,0	489	497	1 172	1205
Savoie	10,9	72,3	70	45	258	253
Haute-Savoie	11,4	84,4	113	99	403	399

De la même façon, ont été comparés pour l'ozone la réalisation du calcul d'impact sur la santé à l'échelle du découpage PMSI puis agrégation au niveau départemental ou directement au niveau départemental à partir d'indicateurs de santé et d'exposition agrégés. Pour le calcul directement au niveau départemental, il a été également comparé une agrégation de l'indicateur d'exposition par une moyenne pondérée sur la population totale de la commune et par une moyenne pondérée sur la population cible du RR c'est-à-dire les plus de 65 ans.

Ces comparaisons montrent des résultats très proches. Ainsi le calcul direct au niveau départemental à partir de la moyenne pondérée sur la population paraît plus simple, ce qui permet également de s'affranchir des difficultés à faire correspondre des données de santé au découpage PMSI et des données d'exposition à la commune.

I TABLEAU N°18 I

Comparaison des hospitalisations pour causes respiratoires et cardio-vasculaires attribuables à l'ozone sous le scénario «écrêtage à 70 µg/m³» selon l'échelle de calcul d'impact sur la santé et selon la population utilisée pour l'agrégation de l'indicateur d'exposition, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

	Département	Calcul à l'échelle du département Population 65 ans et + pour agrégation indicateur d'exposition	Calcul à l'échelle du département Population totale pour agrégation indicateur d'exposition	Calcul à l'échelle du PMSI puis agrégation des résultats d'impact sur la santé
Hospitalisations pour causes respiratoires	Ain	18	18	18
	Allier	10	10	10
	Ardèche	15	15	15
	Cantal	8	8	8
	Drôme	17	17	17
	Isère	37	37	37
	Loire	24	24	24
	Haute-Loire	9	9	9
	Puy-de-Dôme	16	16	16
	Rhône	47	47	47
	Savoie	14	14	14
	Haute-Savoie	21	21	21
	Région	236	237	237
Hospitalisations pour causes cardio-vasculaires	Ain	66	66	66
	Allier	50	50	50
	Ardèche	47	48	48
	Cantal	33	33	33
	Drôme	59	59	59
	Isère	152	152	152
	Loire	92	92	92
	Haute-Loire	31	31	31
	Puy-de-Dôme	80	79	80
	Rhône	163	163	164
	Savoie	54	54	54
	Haute-Savoie	71	71	70
	Région	897	898	900

Influence du RR

Cette analyse de sensibilité sur l'estimation de la mortalité attribuable aux PM_{2,5} montre que le choix du RR joue un rôle déterminant. En effet, par rapport à l'analyse principale utilisant le RR issu d'études européennes et recommandé par le guide de Santé publique France, les calculs utilisant le RR issu d'une méta-analyse internationale [33], qui est celui préconisé par l'OMS en 2013 et proposé par défaut dans AirQ+, conduisent à des estimations plus de deux fois plus faibles (Tableau 19).

I TABLEAU N°19 I

Influence du RR sur l'estimation de la mortalité attribuable aux PM_{2,5} par département, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Atteinte de la valeur de 10µg/m ³ ancienne valeur guide de l'OMS						
Département	Principale : RR= 1,15 [1,05 ; 1,25]			Sensibilité : RR = 1,06 [1,04 ; 1,08]		
	N	IC ₉₅ %	Part attribuable (%)	N	IC ₉₅ %	Part attribuable (%)
Ain	38	[13 ; 60]	0,83	16	[11 ; 22]	0,36
Allier	8	[3 ; 13]	0,19	4	[2 ; 5]	0,08
Ardèche	22	[8 ; 34]	0,63	9	[6 ; 12]	0,27
Cantal	0	[0 ; 0]	0,00	0	[0 ; 0]	0,00
Drôme	68	[24 ; 107]	1,54	29	[19 ; 39]	0,67
Isère	192	[68 ; 304]	2,20	84	[55 ; 111]	0,96
Loire	15	[5 ; 24]	0,21	6	[4 ; 9]	0,09
Haute-Loire	0	[0 ; 0]	0,00	0	[0 ; 0]	0,00
Puy-de-Dôme	14	[5 ; 22]	0,23	6	[4 ; 8]	0,10
Rhône	489	[174 ; 768]	4,04	214	[140 ; 282]	1,76
Savoie	70	[25 ; 111]	2,02	30	[20 ; 40]	0,88
Haute-Savoie	113	[40 ; 179]	2,25	49	[32 ; 65]	0,98
Région	1 029	[364 ; 1 621]	1,61	448	[293 ; 592]	0,70

Poids total de la pollution						
Département	Principale			Sensibilité		
	N	IC ₉₅ %	Part attribuable (%)	N	IC ₉₅ %	Part attribuable (%)
Ain	289	[103 ; 452]	6,3	127	[83 ; 167]	2,8
Allier	237	[84 ; 371]	5,6	104	[68 ; 137]	2,4
Ardèche	172	[61 ; 270]	5,0	76	[49 ; 100]	2,2
Cantal	43	[15 ; 68]	2,2	19	[12 ; 25]	0,9
Drôme	298	[107 ; 465]	6,8	131	[86 ; 173]	3,0
Isère	681	[245 ; 1 060]	7,8	301	[197 ; 396]	3,4
Loire	397	[141 ; 623]	5,5	174	[114 ; 230]	2,4
Haute-Loire	66	[23 ; 104]	2,6	28	[19 ; 38]	1,1
Puy-de-Dôme	283	[101 ; 445]	4,7	124	[81 ; 163]	2,0
Rhône	1 172	[424 ; 1 813]	9,7	520	[342 ; 684]	4,3
Savoie	258	[92 ; 402]	7,5	114	[75 ; 150]	3,3
Haute-Savoie	403	[145 ; 627]	8,0	178	[117 ; 234]	3,5
Région	4 301	[1 543 ; 6 701]	6,7	1 895	[1 243 ; 2 497]	3,0

4. DISCUSSION

4.1 Synthèse des résultats

Cette étude quantifie l'impact sur la santé de la pollution de l'air ambiant dans la région Auvergne-Rhône-Alpes et fournit des résultats à différentes échelles du territoire de la région pour permettre aux acteurs locaux de se les approprier et de favoriser la mise en place de politiques locales d'amélioration de la qualité de l'air.

En s'appuyant sur une modélisation à fine échelle et des indicateurs d'exposition fournis par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, sur le récent guide de réalisation d'une EQIS produit par Santé publique France [40] et sur la dernière version de l'application AirQ+ de l'OMS, cette étude innovante présente des résultats sur plusieurs indicateurs de pollution et plusieurs événements de santé en complément de la mortalité habituellement présentée. L'utilisation d'une méthode identique sur tout le territoire régional permet des comparaisons géographiques et contribue à l'action d'observation de la santé environnementale du PRSE3.

Les résultats confirment l'impact important de l'exposition à long terme aux particules fines sur la santé de la population dans la région, en étant responsables chaque année de près de 4 300 décès (6,7 % des décès) chez les plus de 30 ans, 200 cancers du poumon soit 4,4 % pour ce type de cancer et 780 AVC (6,1 % des AVC). L'impact à court terme des particules est lui aussi non négligeable, avec 550 recours aux urgences pour asthme chez les enfants (5,2 % des recours). Toutefois, ces résultats correspondent à ceux du scénario « poids total de la pollution » qui donne une idée du fardeau que représente la pollution de l'air dans la région mais qui paraît peu atteignable, ce scénario correspond cependant approximativement à l'atteinte de la nouvelle valeur guide OMS fixée à $5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Un scénario plus atteignable correspondant à l'atteinte de l'ancienne valeur guide de l'OMS dans toutes les communes de la région permettrait d'éviter dans la région 1,6 % des décès annuels soit un peu plus de 1 000 décès, 1,1 % des cancers du poumon (50 cancers), 1,5 % des AVC (190 AVC) et 1,4 % des passages aux urgences pour asthme chez les enfants (145 passages). Ces événements de santé évitables sont localisés principalement dans les territoires prioritaires de la région ce qui confirme le fort enjeu sanitaire lié à la pollution de l'air ambiant dans ces territoires. Pour autant, quel que soit le territoire et le niveau de pollution, il y a toujours un intérêt pour la santé - et les résultats de différentes études à l'international et en Europe le montrent, [37, 67-70] - à faire diminuer le niveau d'exposition aux particules fines (effets sans seuil des polluants de l'air ambiant).

Les analyses réalisées avec le NO_2 permettent d'estimer l'impact sur la santé lié au trafic routier. Les résultats ne peuvent cependant pas être sommés avec ceux provenant des analyses réalisées avec l'indicateur $\text{PM}_{2,5}$ car cela entraînerait un double comptage. En effet, le trafic routier émet également des particules fines et une partie des impacts sur la santé liés aux particules fines provient également du trafic routier. Ainsi, avec l'indicateur NO_2 , la pollution liée au trafic routier serait responsable de près de 2 000 décès (3,1 % des décès) chaque année dont la majorité (62 %) dans les territoires prioritaires.

Enfin, il a été estimé que l'exposition à l'ozone serait responsable, chaque année dans la région, de 240 hospitalisations pour causes respiratoires et de 900 hospitalisations pour causes cardiovasculaires soit respectivement 0,6 % et 1,2 % de ces hospitalisations chez les personnes de 65 ans et plus.

4.2 Choix des couples polluants-effets

Les dernières EQIS menées par Santé publique France dont celle de la vallée de l'Arve dans la région Auvergne-Rhône-Alpes portaient principalement sur le couple $\text{PM}_{2,5}$ -mortalité à long terme. C'est en effet le couple polluant – effet le plus robuste et celui qui traduit le mieux l'impact sur la santé de la pollution de l'air ambiant. Cependant, un bilan des évaluations quantitatives locales

d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine réalisées en France avait montré que les parties prenantes [42, 54] pouvaient estimer qu'une partie de la pollution n'était pas suffisamment prise en compte, en particulier celle liée au trafic. Par ailleurs, la notion de décès évitables peut être difficile à appréhender. Ces éléments ont été pris en compte lors de la réalisation du guide de Santé publique France et une revue de la littérature a permis de proposer dans le guide d'autres couples polluants-effets considérés comme suffisamment robustes pour pouvoir être utilisés dans des EQIS.

Dans l'objectif de caractériser largement les impacts sur la santé de la pollution de l'air ambiant et de mettre à disposition des collectivités des données répondant au mieux à leurs besoins, cette étude a porté sur les 3 indicateurs de pollution principaux surveillés en routine par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes ($PM_{2,5}$, NO_2 , O_3) et plusieurs événements de santé proposés dans le guide de Santé publique France en privilégiant les effets à long terme.

Initialement, parmi les effets à long terme en lien avec les $PM_{2,5}$ et le NO_2 , l'incidence de l'asthme chez l'enfant avait été retenue mais l'absence de données de santé sur cet indicateur n'a pas permis de mener cette analyse.

Pour l'ozone, les deux couples polluants-effets proposés par le guide ont été retenus. Il s'agit des hospitalisations pour causes respiratoires et cardiovasculaires qui sont des effets à court terme. Il existe des relations concentration-risque entre l'ozone et la mortalité à long terme qui sont utilisées dans certaines études, et notamment dans le cadre du rapport européen [54]. Cependant, sur la base d'une méta-analyse anglaise [71] montrant l'insuffisance de preuve d'association entre les concentrations d'ozone et le risque de décès à long terme, ce couple polluant-effet n'a pas été retenu dans le guide de Santé publique France et dans notre étude.

Les RR utilisés dans cette étude sont ceux recommandés par le guide de Santé publique France [40] mais d'autres RR existent et leur choix reste déterminant sur les résultats. Concernant la mortalité par exemple, le RR recommandé au niveau international par l'OMS en 2013 [33] est plus faible et conduirait donc à des résultats d'impact sur la santé deux fois plus faibles (voir analyse de sensibilité). Ce RR issu d'une méta-analyse est très influencée par les données d'Amérique du Nord, [33] et Santé publique France en lien avec l'OMS a considéré que pour la France, il était plus pertinent d'utiliser le RR qui a été construit sur des données européennes et françaises [40]. Les RR sont entourés d'une incertitude quantifiée par l'intervalle de confiance autour du résultat, mais une autre source d'incertitude concerne la transposabilité des RR à des contextes qui ne sont pas urbains. En effet, les RR utilisés proviennent, en majorité, d'études épidémiologiques, menées en zones urbaines. Leur application à toute la région Auvergne-Rhône-Alpes, y compris ses zones rurales induit donc une incertitude difficile à quantifier.

4.3 Choix des seuils de référence

Le choix du seuil de référence pour le calcul du poids total de la pollution, c'est-à-dire du niveau de polluants hors apports anthropiques, peut avoir une influence significative sur les résultats. En effet, pour les $PM_{2,5}$, il est admis qu'il n'existe pas de seuil en deçà duquel il n'y aurait pas d'effet sur la santé. Pour le NO_2 , les dernières études ne suggèrent pas non plus l'existence d'un seuil en dépit d'un faible nombre d'études incluant de très bas niveaux de NO_2 [61].

Pour les $PM_{2,5}$, la valeur de $5,5 \mu g/m^3$ correspondant à la moyenne annuelle (2016-2018) mesurée à la station rurale nationale « Drôme rurale sud » a été retenue. Cette valeur est proche des valeurs de $4,5 \mu g/m^3$, $4,9 \mu g/m^3$ et $5 \mu g/m^3$ retenues respectivement pour l'EQIS de la vallée de l'Arve [49] l'EQIS en France continentale publiée en 2016 [50] et celle en France métropolitaine publiée en 2021 [1]. Elle est également très proche de la nouvelle valeur guide préconisée par l'OMS de $5 \mu g/m^3$ en concentration moyenne annuelle qui a été publiée en septembre 2021.

Pour le NO_2 , en cohérence avec le choix précédent, la valeur de $1,8 \mu g/m^3$ de la station « Drôme rurale sud » a également été retenue. Cette valeur très basse traduit la nature essentiellement anthropique du NO_2 . Elle est également très proche de la concentration minimale de $1,5 \mu g/m^3$

évoquée dans l'étude Escape [72] rapportée par 3 cohortes (suédoise, italienne du Nord et Autrichienne) et de celle de $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondant à la moyenne annuelle la plus basse modélisée en 2013 au Royaume-Uni. [61]. Elle reste plus faible que la nouvelle valeur guide préconisée par l'OMS de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ qui a été publiée en septembre 2021 et qui correspond également à la valeur de référence retenue dans l'étude nationale de 2021 [1].

L'extrapolation des RR à des valeurs basses induit une incertitude supplémentaire sur le résultat mais les études tendent à montrer que la pente de la relation concentration-risque serait plus importante lorsque les valeurs sont basses, induisant plutôt une sous-estimation des résultats [37, 61].

4.4 Comparaison avec d'autres EQIS

La comparaison des résultats des différentes EQIS doit prendre en compte les différences méthodologiques introduites par le type de données environnementales (données modélisées vs mesures, type de modèle) et sanitaires utilisées, par le choix du RR, des scénarios, des valeurs cibles de référence, ainsi que de la zone et de la période d'étude considérées. Ainsi, de manière générale, les résultats des EQIS menées à des périodes et/ou par des organismes différents ne peuvent être comparés directement. Cependant, et c'est aussi tout l'intérêt de cette étude, l'EQIS permet de produire des résultats à différentes échelles et sur différents territoires de la région, avec des choix méthodologiques identiques rendant l'ensemble des résultats comparables.

La précédente étude donnant des résultats au niveau régional était celle de 2016 menée sur la France continentale [50] et portant sur des données d'exposition des années 2007 et 2008. La méthodologie utilisée était proche mais le modèle d'estimation de l'exposition utilisé portait sur des mailles $2 \times 2 \text{ km}$ et l'exposition estimée au niveau de la commune reposait sur une moyenne incluant l'ensemble du territoire de la commune, y compris les zones inhabitées. Enfin, le réseau de mesure de $\text{PM}_{2,5}$ était peu dense avant 2005 et la corrélation spatiale (0,42 en 2007 et 0,12 en 2008) entre modèle et mesures était relativement faible et variable selon les territoires [59]. Ainsi, l'EQIS France continentale estimait à 4 382 le nombre de décès évitables sous le scénario « poids total de la pollution » dans la région. Ce résultat est proche de celui retrouvé dans notre étude (4 301 décès), mais la précédente portait sur les années 2007-2008 où les niveaux de pollution étaient beaucoup plus élevés. Atmo Auvergne-Rhône-Alpes estime que les concentrations moyennes annuelles en $\text{PM}_{2,5}$ ont baissé de 60 % entre 2007 et 2018 [53]. Ceci confirme les limites du modèle de l'étude précédente pour notre région et l'intérêt de l'utilisation d'un modèle avec une résolution spatiale fine et d'une estimation de l'exposition rapportée à la densité de la population dans une région à la géographie complexe comme celle d'Auvergne-Rhône-Alpes.

L'EQIS menée sur la vallée de l'Arve en 2017 [49] est très proche méthodologiquement de la présente étude. Elle utilise le même RR pour la mortalité en lien avec les $\text{PM}_{2,5}$ et s'appuie également sur la modélisation fine d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes à partir des données 2012-2013. Cependant, l'estimation de l'exposition prend en compte la mise en place d'une station de mesure des $\text{PM}_{2,5}$ en 2015 à Passy (74) qui a permis de mieux recalibrer la modélisation d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, en particulier dans la zone centrale de la vallée où il était déjà apparu en 2017 qu'elle sous-estimait l'exposition. De ce fait, malgré l'amélioration de la qualité de l'air sur la vallée entre les 2 périodes d'étude [73], les résultats en termes d'impact sanitaire sont assez proches : 85 décès³ pour le scénario poids total dans l'étude de 2017 et 93 pour la présente étude.

Les résultats des EQIS menées sur les villes de la région en particulier en 2014 sur Annecy [46], Valence [48] et Saint-Etienne [45], ne peuvent être comparés directement à ceux obtenus dans cette étude, étant donné les importantes différences dans les données environnementales pour le calcul de l'estimation de l'exposition (une ou deux stations de mesures agrégées pour estimer l'exposition vs. plusieurs mailles de modèle pour une commune dans l'étude actuelle), dans le choix des RR

³ L'estimation menée dans une analyse de sensibilité de l'étude de la vallée de l'Arve qui reposait sur une estimation de l'exposition communale identique à la présente étude (moyenne des concentrations pondérée par la densité de la population) est de 90 décès.

(RR cohortes Escape/Gazel-Air vs. RR recommandé par l'OMS en 2013 [33]), dans le choix des scénarios et des périodes d'études.

Pour certaines EQIS, il est proposé une évaluation du coût économique associé aux impacts sur la santé de la pollution de l'air ambiant. Cette évaluation peut être intégrée à l'EQIS [42, 45, 46, 48] ou fait l'objet d'une étude complémentaire [74, 75]. Ce type d'étude repose sur une évaluation des coûts directs (coûts médicaux et non médicaux), indirects (perte de production pour le patient ou les proches) et intangibles (souffrance, peine, et perte de la qualité de vie liés à un événement sanitaire) de la pollution de l'air ambiant. Ces derniers qui représentent généralement l'impact majoritaire du coût économique restent cependant plus difficiles à appréhender. Le développement d'un module complémentaire de AIRQ+ pour l'évaluation économique non disponible au moment de la réalisation de cette étude est prévu par le bureau régional de l'OMS.

4.5 Autres sources d'incertitudes

Tous les résultats présentés dans cette étude sont des ordres de grandeur. En effet, toute évaluation d'impact sur la santé est soumise à différentes sources d'incertitudes comme celles que nous venons de voir. Nous résumons ci-après les sources d'incertitudes liées à l'estimation de l'exposition aux données de santé et à l'échelle de calcul.

Incertitude associée à l'estimation de l'exposition

Les modélisations des concentrations pour les trois polluants étudiés sont issues du modèle à fine échelle d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (mailles de 10m*10m). Ce dernier est une combinaison du modèle de l'Ineris (Chimère) utilisé dans les études nationales reposant notamment sur une maille de 4 km*4 km, et d'un modèle fine échelle (Sirane). Cette solution permet ainsi une résolution de cartographie plus fine, renforcé également par un cadastre des émissions régionales plus fin en données d'entrée.

Compte-tenu des variations spatiales plus faibles pour les PM_{2,5} que pour le NO₂, les données d'expositions plus précises qui sont produites dans cette étude apparaissent plus facilement comparables aux données des études nationales pour les PM_{2,5} que pour le NO₂.

L'indicateur d'exposition a été construit à partir de données de concentration modélisées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes qui, bien que reposant sur une modélisation à fine échelle, restent entachées d'une certaine incertitude liée au modèle utilisé et aux données d'entrée qui reposent notamment sur les cadastres d'émission. Si les émissions liées au trafic routier paraissent relativement bien évaluées, les émissions plus ponctuelles comme celles du chauffage au bois ou du brûlage sauvage de déchets sont plus difficiles à estimer et à bien répartir géographiquement. La modélisation suit un processus d'ajustement statistique permettant de reproduire au mieux la réalité en se servant des mesures aux stations et de façon générale, plus un modèle peut être recalé sur des données de stations de mesures, plus il est proche de la réalité. Ainsi, l'incertitude sur l'estimation des concentrations est probablement variable selon la zone de la région considérée. Cependant, les zones les plus polluées qui contribuent majoritairement à l'impact sur la santé sont celles qui comptent le plus de stations de mesures.

Le choix de calculer l'exposition moyenne de la population communale à partir de la moyenne pondérée par la densité de la population repose sur l'hypothèse que l'exposition au lieu de résidence est la meilleure façon de représenter l'exposition moyenne d'un individu même si cette exposition peut être surestimée pour certains ou sous-estimée pour d'autres. Dans certaines situations, l'incertitude liée à l'exposition communale pourra être plus importante, par exemple lorsque pour une majorité d'habitants en âge de travailler, l'emploi se trouve dans une commune plus polluée que celle de leur lieu de résidence. Il faut également noter que la plupart des études épidémiologiques dont sont issus les relations concentrations-risques utilisées dans les EQIS estiment l'exposition à l'adresse du lieu de résidence, ce qui assure une bonne cohérence entre les méthodes d'estimation de l'exposition.

Incertitudes associées aux données de santé

Les années utilisées pour les données de santé peuvent être une source d'incertitude. En effet, ces données ne sont pas toutes recueillies pour la même période que les données d'exposition, à cause de leur disponibilité, notamment pour les données de mortalité. Cependant, en dehors de tout événement exceptionnel (épisode de très forte chaleur, épidémie de COVID-19), les variations de ces indicateurs sont faibles d'une année à l'autre, l'incertitude liée à ce choix est donc faible.

Les données de cancers du poumon ne sont pas des données d'observation mais sont issues d'une étude [63] donnant une estimation du nombre incident de cancers par département à partir de plusieurs sources de données. En effet, en France, seuls quelques départements dont l'Isère en Auvergne-Rhône-Alpes sont dotés d'un registre du cancer. Par ailleurs, ces données départementales ont été proratisées à la commune en fonction de la population, ce qui engendre une incertitude supplémentaire.

Les données départementales de passages aux urgences pour asthme chez les enfants sont celles qui portent le plus d'incertitudes compte-tenu du codage non exhaustif par les établissements de santé et des extrapolations qui ont été réalisées à partir du taux de codage. De plus, l'utilisation de données sur la classe d'âge 0-15 ans sous-estime le nombre de cas par rapport à la classe d'âge 0-17 ans de la population cible de la relation concentration-risque utilisée. Enfin, de la même façon que pour les cancers du poumon, les données départementales ont été proratisées au niveau communal pour les calculs.

Pour les cancers du poumon et les passages aux urgences pour asthme, compte-tenu de l'origine départementale des données et bien que cela soit techniquement possible, aucun résultat à une échelle infra-départementale n'est produit dans le cadre de cette étude.

Incertitude associée à l'échelle de calcul de l'impact sur la santé

Comme présenté dans la partie 3.6 « analyses de sensibilité », une analyse complémentaire a été réalisée afin de vérifier si une différence existait entre un calcul d'impact sur la santé à l'échelle de la commune, agrégé par la suite aux différentes échelles de restitution, et un calcul exécuté directement à l'échelle des EPCI ou des départements. Il s'agissait de comparer les résultats des différentes échelles de calcul. Cette analyse montre de faibles différences de résultats sous le scénario « poids total de la pollution » pour les PM_{2,5} et les scénarios d'écrtage pour l'ozone, mais elle fait ressortir d'importantes disparités sous le scénario « atteinte de la valeur de 10 µg/m³ ».

Ainsi, pour les scénarios d'atteinte d'une valeur suffisamment basse pour que toutes, ou presque toutes les entités présentent des niveaux d'exposition au-dessus de cette valeur, l'échelle de calcul influe peu sur le résultat et il peut être plus simple de faire le calcul à l'échelle de restitution souhaitée. Il en va de même pour les scénarios d'écrtage utilisés pour l'ozone qui peuvent permettre de s'affranchir de calculs intermédiaires à l'échelle du PMSI pour un résultat à l'échelle du département.

En revanche, pour un scénario d'atteinte d'une valeur fixe avec des entités (communes dans notre étude) possiblement en dessous de cette valeur, le calcul d'impact sur la santé à l'échelle géographique la plus fine est indispensable.

4.6 Implication en termes de santé publique

Bien que les niveaux de pollution présentent globalement une tendance à la baisse, cette EQIS menée sur l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes confirme que l'impact sur la santé de la pollution de l'air ambiant reste majeur dans la région. L'exposition à long terme aux PM_{2,5} représente ainsi 6,7 % de la mortalité dans la région, très proche de la dernière estimation réalisée pour l'ensemble de la France métropolitaine (7 %)[1]. Sous un scénario plus atteignable, si l'ancienne valeur recommandée par l'OMS pour les PM_{2,5} (10 µg/m³) était respectée dans toutes les

communes, 1,6 % des décès annuels pourraient être évités soit un peu plus de 1 000 décès dont 81 % dans les zones prioritaires de la région.

S'appuyant sur les derniers guides de Santé publique France publiés en 2019, cette première EQIS régionale apparaît particulièrement innovante. Tout d'abord, elle présente les premiers résultats régionaux avec des données récentes (2016-2018), depuis la parution de l'étude nationale de 2016 (étude portant sur les années 2007-2008). En complément des résultats sur la mortalité, comme c'était le cas dans l'étude nationale et l'étude sur la vallée de l'Arve, elle présente des résultats sur plusieurs événements de santé parmi ceux proposés dans le guide. Aussi, elle s'appuie sur une modélisation fine d'estimation des concentrations de polluants, et sur un calcul prenant en compte la densité de la population, pour approcher au mieux l'exposition réelle de la population. Cela apparaît d'autant plus important dans la région Auvergne-Rhône-Alpes que sa géographie est complexe et variée.

Elle ne se limite pas à produire des résultats en s'appuyant sur les PM_{2,5}, même si ceux-ci restent les plus robustes, mais fournit également des résultats pour le NO₂ et pour l'ozone. Cependant, bien que les estimations réalisées à partir du NO₂ ne soient pas cumulables avec celles réalisées avec les PM_{2,5} et qu'elles présentent une incertitude plus importante, elles permettent d'approcher de plus près l'impact sur la santé lié au trafic. Enfin, les estimations pour l'ozone se sont appuyées sur la construction de l'indicateur d'exposition SOMO₃₅ préconisé par l'OMS. Cet indicateur n'est pas ou peu utilisé encore en France.

La construction de ces indicateurs d'exposition pour la réalisation des calculs d'impact sur la santé, calculés pour chaque commune de la région et également au niveau des EPCI et des départements, seront également utiles dans le cadre de l'observation de la santé environnementale au niveau régional. Ils sont déjà intégrés dans la mise à jour des fiches thématiques de l'état des lieux de la santé environnementale du PRSE3.

Cette étude fournit des résultats au niveau régional mais aussi au niveau départemental, des zones prioritaires, des EPCI et des villes de plus de 20 000 habitants permettant aux acteurs locaux de disposer de résultats sur leurs territoires. Issus de la même étude, ces résultats sont comparables.

Les incertitudes passées en revue ne remettent pas en cause le fait que la pollution de l'air continue d'avoir un impact significatif sur la santé, et que des actions améliorant la qualité de l'air se traduiraient par des bénéfices importants sur la santé de la population de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

D'autre part, l'ensemble des études épidémiologiques portant sur les effets à long terme de la pollution de l'air ambiant montrent qu'il n'existe pas de concentrations en-deçà de laquelle la pollution de l'air n'aurait pas d'effet sur la santé. Une amélioration de la qualité de l'air se traduirait donc par des bénéfices pour la santé y compris pour les populations des territoires moins exposées, où les concentrations respectent les valeurs réglementaires et les valeurs recommandées par l'OMS.

Il faut noter que cette EQIS s'intéresse essentiellement aux effets d'une exposition à long terme à la pollution de l'air, partant du principe que ces effets sont bien plus élevés que les effets à court-terme suivant une exposition aiguë. Cela ne signifie pas pour autant l'absence d'impact des effets à court-terme.

Ainsi, l'impact sur la santé de l'exposition chronique à la pollution de l'air ambiant justifie la mise en place d'actions visant à réduire durablement la pollution de fond [76]. Compte-tenu de la diversité des sources de polluants (transports, logements, industries, agriculture...), ces interventions pourront également induire de nombreux co-bénéfices sanitaires et sociaux. C'est particulièrement le cas avec les politiques visant à réduire la place de la voiture, à promouvoir les modes de transport actif et à développer un urbanisme favorable à la santé. Ces politiques entraînent des gains sanitaires liés à la diminution de la pollution dont il est question dans cette étude mais aussi, des

gains sanitaires liés à une augmentation de l'activité physique, à une réduction de l'impact lié au bruit, à une réduction de la contribution du trafic à la chaleur urbaine en période de canicule et, à une meilleure répartition de l'espace entre voies routières, zones piétonnes et mode de transport doux. Enfin, il est essentiel dans le cadre de la politique de lutte contre le changement climatique de limiter les émissions de gaz à effets de serre dont les effets sur le climat ont déjà de fortes répercussions sur la santé [76, 77].

Par ailleurs, l'intérêt de cette EQIS et des EQIS en général réside dans le partage et l'appropriation des résultats et des enjeux sanitaires liés à la pollution de l'air ambiant par l'ensemble des acteurs qui interviennent spécifiquement sur la problématique de la pollution de l'air ambiant ou dans la mise en œuvre des politiques publiques visant à améliorer la qualité de l'air, ou encore dans celles susceptibles d'avoir un impact sur la qualité de l'air (administrations, organismes publics, bureaux d'étude, collectivités...) et, plus largement, par le grand public.

A cette fin, en lien avec les membres du comité technique et l'ensemble des partenaires concernés, les résultats de cette EQIS sont destinés à être largement communiqués dans le cadre des PPA, des PLQA, de l'élaboration des PCAET, au sein des comités territoriaux d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes ou lors de journées spécifiques sur la qualité de l'air.

Ils pourront également être intégrés dans des observatoires régionaux comme celui de Balises de l'Observatoire régional de santé (ORS) Auvergne-Rhône-Alpes qui a récemment intégré un module santé environnement dans le cadre du PRSE3 et, utilisés dans les diagnostics territoriaux réalisés par des organismes tels que l'ORS et le Cerema ou directement par les collectivités locales.

5. CONCLUSION

Cette EQIS confirme que la pollution de l'air ambiant constitue un enjeu majeur pour la santé de la population de la région Auvergne-Rhône-Alpes, puisque près de 4 300 décès ainsi que nombre d'autres événements de santé sont attribuables à la pollution aux PM_{2,5} chaque année. Cette pollution touche particulièrement les grandes agglomérations, la vallée du Rhône, de la Saône, et les vallées alpines. Mais les résultats montrent que tout le territoire de la région peut être concerné et toute réduction de pollution, quel que soit le territoire, permettra un gain sanitaire pour la population concernée.

Les résultats de cette EQIS permettront d'informer le public, de sensibiliser et d'appuyer les acteurs locaux dans la mise en œuvre des politiques publiques visant à améliorer la qualité de l'air. En effet, cette étude fournit des résultats aux différentes échelles d'action : région, départements, zones prioritaires, EPCI, communes. Cette étude s'est attachée également à fournir des résultats pour le NO₂, polluant traceur du trafic routier et pour l'ozone, seul polluant en augmentation ces dernières années dans le contexte du réchauffement climatique.

Ces résultats soulignent que les efforts de réduction de la pollution de l'air ambiant doivent être poursuivis durablement sur toutes les sources de pollution, dans un contexte de développement durable et d'urbanisme favorable à la santé, permettant au-delà des bénéfices sanitaires liés à la réduction de l'exposition aux polluants, des co-bénéfices conséquents sur d'autres déterminants de la santé.

Aussi, les indicateurs produits en termes d'exposition à la pollution et d'impact sur la santé permettront d'alimenter les observatoires et les diagnostics territoriaux.

Enfin, le caractère particulièrement innovant de cette étude pourra permettre à d'autres régions ou d'autres acteurs souhaitant réaliser le même type d'étude, de bénéficier de l'expérience des travaux réalisés présentés dans ce rapport.

Références bibliographiques

- [1] Medina S, Adélaïde L, Wagner V, de Crouy Chanel P, Real E, Colette A, *et al.* Impact de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019. Saint-Maurice : Santé publique France; 2021. 63 p. Disponible: www.santepubliquefrance.fr
- [2] European Environment Agency. Air quality in Europe - 2020 report ; 2020. 104 p. Disponible: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
- [3] World Health Organization. Ambient air pollution : A global assessment of exposure and burden of disease [En ligne]. : 2016. [modifié le ; cité le 18/03 2021]. Disponible: <http://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>
- [4] World Health Organization. Health and the environment : addressing the health impact of air pollution [En ligne]. : 2015. [modifié le ; cité le 18/03 2021]. Disponible: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA68/A68_R8-en.pdf
- [5] Carey IM, Atkinson RW, Kent AJ, van Staa T, Cook DG, Anderson HR. Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;187(11):1226-33.
- [6] Laden F, Schwartz J, Speizer FE, Dockery DW. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006;173(6):667-72.
- [7] Perez L, Lurmann F, Wilson J, Pastor M, Brandt SJ, Künzli N, *et al.* Near-roadway pollution and childhood asthma: implications for developing "win-win" compact urban development and clean vehicle strategies. *Environ Health Perspect*. 2012;120(11):1619-26.
- [8] De Marco A, Amoatey P, Khaniabadi YO, Sicard P, Hopke PK. Mortality and morbidity for cardiopulmonary diseases attributed to PM(2.5) exposure in the metropolis of Rome, Italy. *Eur J Intern Med*. 2018;57:49-57.
- [9] Stockfelt L, Andersson EM, Molnár P, Gidhagen L, Segersson D, Rosengren A, *et al.* Long-term effects of total and source-specific particulate air pollution on incident cardiovascular disease in Gothenburg, Sweden. *Environ Res*. 2017;158:61-71.
- [10] Wong CM, Tsang H, Lai HK, Thomas GN, Lam KB, Chan KP, *et al.* Cancer Mortality Risks from Long-term Exposure to Ambient Fine Particle. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2016;25(5):839-45.
- [11] Thiering E, Cyrus J, Kratzsch J, Meisinger C, Hoffmann B, Berdel D, *et al.* Long-term exposure to traffic-related air pollution and insulin resistance in children: results from the GINIplus and LISAplus birth cohorts. *Diabetologia*. 2013;56(8):1696-704.
- [12] Korten I, Ramsey K, Latzin P. Air pollution during pregnancy and lung development in the child. *Paediatr Respir Rev*. 2017;21:38-46.
- [13] Naess Ø, Nafstad P, Aamodt G, Claussen B, Rosland P. Relation between concentration of air pollution and cause-specific mortality: four-year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighborhoods in Oslo, Norway. *Am J Epidemiol*. 2007;165(4):435-43.
- [14] Samoli E, Stafoggia M, Rodopoulou S, Ostro B, Declercq C, Alessandrini E, *et al.* Associations between fine and coarse particles and mortality in Mediterranean cities: results from the MED-PARTICLES project. *Environ Health Perspect*. 2013;121(8):932-8.
- [15] Stafoggia M, Samoli E, Alessandrini E, Cadum E, Ostro B, Berti G, *et al.* Short-term associations between fine and coarse particulate matter and hospitalizations in Southern Europe: results from the MED-PARTICLES project. *Environ Health Perspect*. 2013;121(9):1026-33.

- [16] Chiusolo M, Cadum E, Stafoggia M, Galassi C, Berti G, Faustini A, *et al.* Short-Term Effects of Nitrogen Dioxide on Mortality and Susceptibility Factors in 10 Italian Cities: The EpiAir Study. *Environ Health Perspect.* 2011;119(9):1233-8.
- [17] Host S, Larrieu S, Pascal L, Blanchard M, Declercq C, Fabre P, *et al.* Short-term associations between fine and coarse particles and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in six French cities. *Occup Environ Med.* 2008;65(8):544-51.
- [18] Maté T, Guaita R, Pichiule M, Linares C, Díaz J. Short-term effect of fine particulate matter (PM 2.5) on daily mortality due to diseases of the circulatory system in Madrid (Spain). *Sci Total Environ.* 2010;408(23):5750-7.
- [19] Samoli E, Aga E, Touloumi G, Nisiotis K, Forsberg B, Lefranc A, *et al.* Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. *Eur Respir J.* 2006;27(6):1129-38.
- [20] Burnett R, Chen H, Szyszkowicz M, Fann N, Hubbell B, Pope CA, 3rd, *et al.* Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2018;115(38):9592-7.
- [21] Sanyal S, Rochereau T, Maesano CN, Com-Ruelle L, Annesi-Maesano I. Long-Term Effect of Outdoor Air Pollution on Mortality and Morbidity: A 12-Year Follow-Up Study for Metropolitan France. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15(11).
- [22] Chen J, Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2020;143:105974.
- [23] Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Normes nationales [En ligne]. : 2015. [modifié le ; cité le 18/03 2021]. Disponible: <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/article/normes-nationales>
- [24] Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Normes européennes [En ligne]. Lyon: Atmo Auvergne-Rhône-Alpes; 2015. [modifié le ; cité le 18/03 2021]. Disponible: <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/articles/normes-europeennes>
- [25] World Health Organization. Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre.: World Health Organization; 2005. 27 p. Disponible: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf
- [26] World Health Organization. Qualité de l'air ambiant et santé [En ligne]. : World Health Organization. [modifié le ; cité le 20/03 2021]. Disponible: [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- [27] 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 : Santé publique France; 2008. 41 p. Disponible: <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/rapport-synthese/programme-de-surveillance-air-et-sante.-analyse-des-liens-a-court-terme-entre-pollution-atmospherique-urbaine-et-mortalite-dans-neuf-villes-francaises>
- [28] Jerrett M, Finkelstein MM, Brook JR, Arain MA, Kanaroglou P, Stieb DM, *et al.* A cohort study of traffic-related air pollution and mortality in Toronto, Ontario, Canada. *Environ Health Perspect.* 2009;117(5):772-7.
- [29] Linares C, Falcón I, Ortiz C, Díaz J. An approach estimating the short-term effect of NO(2) on daily mortality in Spanish cities. *Environ Int.* 2018;116:18-28.
- [30] Huangfu P, Atkinson R. Long-term exposure to NO(2) and O(3) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2020;144:105998.
- [31] Orellano P, Reynoso J, Quaranta N, Bardach A, Ciapponi A. Short-term exposure to particulate matter (PM(10) and PM(2.5)), nitrogen dioxide (NO(2)), and ozone (O(3)) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2020;142:105876.

- [32] Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B, *et al.* Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environ Health*. 2013;12(1):43.
- [33] World Health Organization. Health risks of air pollution in Europe - HRAPIE project - Recommendations for concentration-response function for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen, Danemark : WHO Regional office for Europe ; 2013. 60 p.
- [34] 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;170(10):1080-7.
- [35] Medina S, Ballester F, Chanel O, Declercq C, Pascal M. Quantifying the health impacts of outdoor air pollution: useful estimations for public health action. *J Epidemiol Community Health*. 2013;67(6):480-3.
- [36] Cesaroni G, Badaloni C, Gariazzo C, Stafoggia M, Sozzi R, Davoli M, *et al.* Long-term exposure to urban air pollution and mortality in a cohort of more than a million adults in Rome. *Environ Health Perspect*. 2013;121(3):324-31.
- [37] Liu S, Jørgensen JT, Ljungman P, Pershagen G, Bellander T, Leander K, *et al.* Long-term exposure to low-level air pollution and incidence of asthma: the ELAPSE project. *Eur Respir J*. 2020.
- [38] Hamra GB, Guha N, Cohen A, Laden F, Raaschou-Nielsen O, Samet JM, *et al.* Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect*. 2014;122(9):906-11.
- [39] Scheers H, Jacobs L, Casas L, Nemery B, Nawrot TS. Long-Term Exposure to Particulate Matter Air Pollution Is a Risk Factor for Stroke: Meta-Analytical Evidence. *Stroke*. 2015;46(11):3058-66.
- [40] Pascal M, Yvon J, Medina S. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (EQIS). EQIS avec une exposition modélisée. *Santé publique France*; 2019. 96 p.
- [41] Ung A, Pascal M, Corso M, Chanel O, Declercq C. Comment réaliser une évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine ? Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire; 2013. 47 p.
- [42] Ung A, Blanchard B, al. e. Evaluation quantitative d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine en France : bilan des études locales et retours des parties prenantes. . Saint-Maurice : Santé publique France; 2016. 32 p.
- [43] Fougère E, Vincent N, Vaissière E. Evaluation 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.
- [44] Giard M, Jusot JF. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine - Agglomération de Lyon - Impact à court et long terme. Saint Maurice : Institut de veille Sanitaire; 2006. 53 p.
- [45] Yvon J, Huchet-Kervella C. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Saint-Etienne, 2009-2011. Saint-Maurice : Institut de Veille Sanitaire; 2014. 8 p.
- [46] Yvon J, Huchet-Kervella C. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération d'Annecy, 2009-2011. Saint-Maurice : Institut de Veille Sanitaire; 2015. 8 p.
- [47] Thabuis A, Fournier E. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Grenoble. Saint-Maurice : Institut de Veille Sanitaire; 2006. 52 p.

- [48] Yvon J, Huchet-Kervella C. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Valence, 2009-2011. Saint-Maurice : Institut de Veille Sanitaire; 2014. 8 p.
- [49] Pascal M, De Crouy Chanel P, Wagner V, Yvon J, Saura C. Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité dans la vallée de l'Arve Saint-Maurice : Santé publique France; 2017. 41 p. Disponible: www.santepubliquefrance.fr
- [50] Pascal M, De Crouy Chanel P, Corso M, Medina S, Wagner V, Gorla S. Impact de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique Saint-Maurice : Santé publique France; 2016. 148 p.
- [51] DREES, Santé publique France. L'état de santé de la population en France - Rapport 2017. DREES, Santé publique France; 2017. 345 p.
- [52] P. A-R-A. Plan Régional Santé-Environnement Auvergne-Rhône-Alpes 2017-2021 84 p. Disponible: www.auvergne-rhone-alpes.prse.fr
- [53] Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Qualité de l'air en Auvergne-Rhône-Alpes : bilan de l'année 2018. Lyon : Atmo Auvergne-Rhône-Alpes; 2019. 70 p. Disponible: www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/article/bilan-2018-region-auvergne-rhone-alpes
- [54] Préfet de la Haute-Savoie. Plan de protection de l'atmosphère de la vallée de l'Arve [En ligne]. : 2020. [modifié le ; cité le]. Disponible: <https://www.haute-savoie.gouv.fr/Politiques-publiques/Prevenir-le-risque-et-se-proteger/Air/PPA-de-la-vallee-de-l-Arve>
- [55] Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Les plans réglementaires [En ligne]. Lyon: Atmo Auvergne-Rhône-Alpes; 2015. [modifié le ; cité le 18/03 2021]. Disponible: www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/article/les-plans-reglementaires
- [56] Auvergne-Rhône-Alpes R. SRADDET Auvergne-Rhône-Alpes [En ligne]. : 2017. [modifié le ; cité le]. Disponible: <https://www.civocracy.org/SRADDET>
- [57] DREAL Auvergne-Rhône-Alpes. Les PPA de la région [En ligne]. : . [modifié le ; cité le 18/03 2021]. Disponible: www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/les-ppa-de-la-region
- [58] Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Indicateurs Air Santé pour l'identification des points de cumul de facteurs de défaveur environnementaux, socio-économiques et sanitaires. PRSE 3 Auvergne-Rhône-Alpes. 2019. 14 p.
- [59] Pascal M, de Crouy Chanel P, Wagner V, Corso M, Tillier C, Bentayeb M, *et al.* The mortality impacts of fine particles in France. *Sci Total Environ.* 2016;571:416-25.
- [60] Observatoire régional de santé Ile-de-France. Bénéfices sanitaires attendus d'une zone à faibles émissions métropolitaine. 2019. 16 p.
- [61] Committee on the Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP). Associations of long-term average concentrations of nitrogen dioxide with mortality. *Public Health England*; 2018. 152 p. Disponible: <https://www.gov.uk/government/publications/nitrogen-dioxide-effects-on-mortality>
- [62] Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA). Fourniture des données de population spatialisées selon la méthodologie nationale (méthodologie MAJIC). 2016. 10 p. Disponible: https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2015-n_miseajour_population_drc-16-152371-03513a_vf.pdf
- [63] Colonna M, Pépin P, Cariou M, Billot-Grasset A, Chatignoux E. Estimations régionales et départementales d'incidence et de mortalité par cancers en France, 2007-2016. Auvergne-Rhône-Alpes : Santé publique France; 2019. 177 p. Disponible: <http://www.santepubliquefrance.fr>
- [64] Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA). Le dispositif MERA [En ligne]. : 2021. [modifié le ; cité le]. Disponible: <https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-mera>
- [65] Santé publique France. AirQ+ : une nouvelle version du logiciel annoncée par l'OMS [En ligne]. Saint-Maurice: 2019. [modifié le ; cité le 19/03 2021]. Disponible:

<https://www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2019/airq-une-nouvelle-version-du-logiciel-annoncee-par-l-oms>

- [66] World Health Organization. AirQ+ : logiciel pour l'évaluation des risques pour la santé liés à la pollution de l'air [En ligne]. : . [modifié le ; cité le 19/03 2021]. Disponible: <https://www.euro.who.int/fr/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/airq-software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>
- [67] Brauer M, Brook JR, Christidis T, Chu Y, Crouse DL, Erickson A, *et al.* Mortality-Air Pollution Associations in Low-Exposure Environments (MAPLE): Phase 1. *Res Rep Health Eff Inst.* 2019(203):1-87.
- [68] Hvidtfeldt UA, Chen J, Andersen ZJ, Atkinson R, Bauwelinck M, Bellander T, *et al.* Long-term exposure to fine particle elemental components and lung cancer incidence in the ELAPSE pooled cohort. *Environ Res.* 2021;193:110568.
- [69] Hvidtfeldt UA, Severi G, Andersen ZJ, Atkinson R, Bauwelinck M, Bellander T, *et al.* Long-term low-level ambient air pollution exposure and risk of lung cancer - A pooled analysis of 7 European cohorts. *Environ Int.* 2021;146:106249.
- [70] Liu S, Jørgensen JT, Ljungman P, Pershagen G, Bellander T, Leander K, *et al.* Long-term exposure to low-level air pollution and incidence of chronic obstructive pulmonary disease: The ELAPSE project. *Environ Int.* 2021;146:106267.
- [71] Atkinson RW, Butland BK, Dimitroulopoulou C, Heal MR, Stedman JR, Carslaw N, *et al.* Long-term exposure to ambient ozone and mortality: a quantitative systematic review and meta-analysis of evidence from cohort studies. *BMJ Open.* 2016;6(2):e009493.
- [72] Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, Hoffmann B, *et al.* Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet.* 2014;383(9919):785-95.
- [73] Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Bilan de la qualité de l'air en 2019 - Haute-Savoie / Agglomérations d'Annecy et d'Annemasse / Bassin Genevois et Vallée de l'Arve. 2019. 40 p. Disponible: https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/atoms/files/bilanga2019_zoom74-htesavoie.pdf
- [74] Chanel O. Evaluation économique des impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale. Ecole d'économie d'Aix-Marseille, CNRS, IDEP; 2017. 54 p.
- [75] Chanel O, Medina S, Pascal M. Évaluation économique de la mortalité liée à la pollution atmosphérique en France. *Journal de gestion et d'économie de la santé.* 2020;2(2):77-92.
- [76] Tillier C, Medina S, Pascal M. La prévention de la mortalité attribuable à la pollution atmosphérique : pourquoi agir maintenant ? Saint-Maurice : Santé publique France; 2016. 8 p.
- [77] Intergovernmental Panel on Climate Change. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. 2018.

6.ANNEXES

Annexe 1. Résultats par département : impact sur plusieurs événements de santé de l'exposition aux particules fines (PM_{2,5})

Annexe 2. Résultats par EPCI : impact sur la mortalité à long terme de l'exposition à la pollution de l'air ambiant (PM_{2,5} et NO₂)

Annexe 3. Résultats par ville : impact sur la mortalité à long terme de l'exposition aux PM_{2,5} et au NO₂

Annexe 4. Résultats par zone prioritaire : indicateurs d'exposition et impact sur la mortalité à long terme de l'exposition à la pollution de l'air ambiant (PM_{2,5} et NO₂)

Annexe 1. Résultats par département : impact sur plusieurs événements de santé de l'exposition aux particules fines (PM_{2,5})

I TABLEAU N° A1.1 I

Nombre moyen annuel de cancers du poumon (N) et part (%) de cancers du poumon attribuables aux PM_{2,5} selon différents scénarios, par département, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Département	Atteinte de la valeur de 10 µg/m ³			Poids total de la pollution		
	N	IC 95%	Part attribuable (%)	N	IC 95%	Part attribuable (%)
Ain	2	[1 ; 3]	0,5	13	[6 ; 19]	3,9
Allier	0	[0 ; 0]	0,1	9	[4 ; 13]	3,4
Ardèche	1	[0 ; 1]	0,4	7	[3 ; 10]	3,2
Cantal	0	[0 ; 0]	0,0	1	[1 ; 2]	1,3
Drôme	3	[1 ; 5]	1,0	14	[6 ; 20]	4,4
Isère	10	[5 ; 15]	1,4	35	[16 ; 52]	5,0
Loire	1	[0 ; 1]	0,1	15	[7 ; 23]	3,4
Haute-Loire	0	[0 ; 0]	0,0	2	[1 ; 3]	1,7
Puy-de-Dôme	1	[0 ; 1]	0,2	13	[6 ; 20]	3,1
Rhône	26	[12 ; 40]	2,6	63	[29 ; 94]	6,2
Savoie	3	[1 ; 4]	1,2	10	[5 ; 14]	4,6
Haute-Savoie	5	[2 ; 8]	1,3	19	[9 ; 28]	5,0

IC 95% : Intervalle de confiance à 95%.

I TABLEAU N° A1.2 I

Nombre moyen annuel d'AVC (N) et part (%) d'AVC attribuables aux PM_{2,5} selon différents scénarios, par département, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Département	Atteinte de la valeur de 10 µg/m ³			Poids total de la pollution		
	N	IC 95%	Part attribuable (%)	N	IC 95%	Part attribuable (%)
Ain	7	[2 ; 11]	0,7	53	[17 ; 87]	5,6
Allier	1	[0 ; 2]	0,2	37	[12 ; 62]	4,9
Ardèche	3	[1 ; 4]	0,4	25	[8 ; 42]	4,3
Cantal	0	[0 ; 0]	0,0	6	[2 ; 10]	1,9
Drôme	12	[4 ; 19]	1,4	52	[17 ; 86]	6,1
Isère	35	[11 ; 59]	1,9	129	[42 ; 212]	6,9
Loire	2	[1 ; 3]	0,1	65	[21 ; 108]	4,8
Haute-Loire	0	[0 ; 0]	0,0	10	[3 ; 16]	2,4
Puy-de-Dôme	2	[1 ; 4]	0,2	42	[14 ; 70]	4,1
Rhône	95	[31 ; 158]	3,6	227	[75 ; 372]	8,6
Savoie	13	[4 ; 22]	1,6	52	[17 ; 86]	6,3
Haute-Savoie	21	[7 ; 36]	1,9	80	[26 ; 131]	7,0

IC 95% : Intervalle de confiance à 95%.

I TABLEAU N° A1.3 I

Nombre moyen annuel de passages aux urgences (N) et part (%) de passages aux urgences attribuables aux PM_{2,5} selon différents scénarios, par département, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Département	Atteinte de la valeur de 10 µg/m ³			Pas de pollution anthropique		
	N	IC 95%	Part attribuable (%)	N	IC 95%	Part attribuable (%)
Ain	3	[1 ; 6]	0,5	29	[4 ; 52]	4,3
Allier						
Ardèche						
Cantal						
Drôme	10	[1 ; 19]	1,1	44	[6 ; 80]	4,9
Isère	27	[4 ; 50]	1,4	100	[13 ; 181]	5,3
Loire	1	[0 ; 2]	0,1	36	[5 ; 66]	3,7
Haute-Loire						
Puy-de-Dôme	1	[0 ; 2]	0,2	25	[3 ; 46]	3,4
Rhône	80	[10 ; 146]	2,7	195	[26 ; 351]	6,6
Savoie						
Haute-Savoie	15	[2 ; 27]	1,4	55	[7 ; 100]	5,4

Les départements dont le résultat n'est pas communiqué sont ceux dont le taux de codage est inférieur à 60%. IC 95% : Intervalle de confiance à 95%.

Annexe 2. Résultats par EPCI : impact sur la mortalité à long terme de l'exposition à la pollution de l'air ambiant (PM_{2,5} et NO₂)

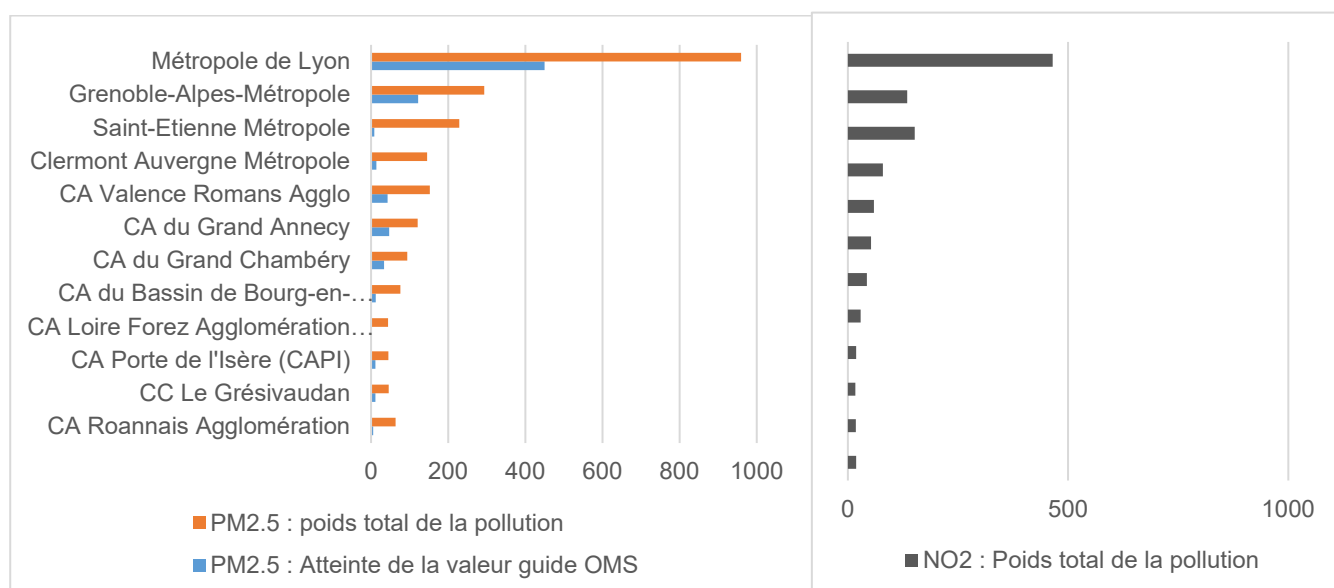
I TABLEAU N° A2.1 I

Nombre de décès (N) attribuables aux PM_{2,5} et au NO₂ pour les EPCI de plus de 100 000 habitants, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

EPCI	Population	PM _{2,5}			NO ₂	
		Indicateur (µg/m³)	Scénario 10 µg/m³	Scénario poids total	Indicateur (µg/m³)	Scénario poids total
			N	N		N
CA du Bassin de Bourg-en-Bresse	130 712	10,6	12	76	13,4	29
CA du Grand Annecy	198 626	12,5	47	121	20,1	53
CA du Grand Chambéry	132 894	12,3	34	94	20,3	43
CA Loire Forez Agglomération	108 187	9,0	0	44	10,7	19
CA Porte de l'Isère	104 941	11,3	11	45	14,6	17
CA Roannais Agglomération	100 458	9,8	6	64	9,2	19
CA Valence Romans Agglo	219 366	11,5	43	152	15,7	59
CC Le Grésivaudan	100 871	11,0	11	46	14,5	18
Clermont Auvergne Métropole	286 190	10,3	14	145	17,6	80
Grenoble-Alpes-Métropole	445 516	13,0	122	293	22,3	135
Métropole de Lyon	1 370 678	13,8	450	959	25,8	465
Saint-Etienne Métropole	402 882	9,8	8	229	19,3	152

I FIGURE N° A2.1 I

Nombre de décès attribuables aux PM_{2,5} et au NO₂ pour les EPCI de plus de 100 000 habitants, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018



I TABLEAU N° A2.2 I

Nombre de décès (N) attribuables aux PM_{2,5} et au NO₂ pour les EPCI entre 20 000 habitants et 100 000 habitants, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

EPCI	Population	PM _{2,5}			NO ₂	
		Indicateur (µg/m³)	Scénario 10 µg/m³ N	Scénario poids total N	Indicateur (µg/m³)	Scénario poids total N
CA Agglo Pays d'Issoire	55 416	8,6	0	23	10,3	11
CA Annemasse-Les Voirons-Agglomération	89 215	12,0	14	44	22,3	24
CA Annonay Rhône Agglo	48 268	9,5	1	25	12,1	11
CA Arche Agglo	56 710	11,1	9	34	13,2	12
CA Arlysère	60 459	11,6	13	43	17,0	18
CA de l'Ouest Rhodanien	50 692	8,1	0	19	8,7	8
CA du Bassin d'Aurillac	53 295	7,4	0	17	9,9	12
CA du Pays de Gex	90 151	9,9	1	19	14,7	9
CA du Pays Voironnais	93 303	10,5	8	48	15,5	22
CA du Puy-en-Velay	82 412	7,5	0	25	11,5	20
CA Grand Lac	73 756	11,5	14	51	15,9	20
CA Haut - Bugey Agglomération	63 408	7,8	0	14	9,6	8
CA Montélimar Agglomération	64 249	10,7	6	35	14,2	14
CA Montluçon Communauté	63 316	10,5	7	53	12,1	18
CA Moulins Communauté	63 877	9,7	0	38	11,1	14
CA Privas Centre Ardèche	43 552	8,8	3	21	9,6	8
CA Riom Limagne et Volcans	66 264	9,4	0	28	12,6	13
CA Thonon Agglomération	85 817	10,9	9	46	17,8	23
CA Vichy Communauté	83 364	9,4	0	59	11,7	25
CA Vienne Condrieu	88 227	11,6	16	55	17,7	24
CA Villefranche Beaujolais Saône	72 235	11,3	10	40	18,8	19
CC Ambert Livradois Forez	27 618	7,2	0	9	7,5	5
CC Ardèche Rhône Coiron	22 230	9,1	1	9	12,1	4
CC Beaujolais Pierres Dorées	51 335	10,7	4	25	15,8	11
CC Bièvre Isère	53 896	9,3	0	23	9,0	7
CC Billom Communauté	25 524	8,8	0	11	9,9	4

CC Bresse et Saône	25 089	11,0	3	16	12,5	5
CC Bugey Sud	33 665	10,5	3	22	11,0	7
CC Charlieu-Belmont	23 432	8,9	0	12	7,2	3
CC Cluses-Arve et Montagnes	45 776	12,3	10	26	20,0	12
CC Cœur de Savoie	36 216	11,4	5	22	15,9	9
CC Commeny Montmarault Nérès Communauté	26 321	9,0	0	16	9,8	6
CC de Bièvre Est	21 898	9,3	0	8	11,9	3
CC de Forez-Est	63 070	9,3	0	26	11,3	11
CC de la Châtaigneraie Cantalienne	21 438	7,7	0	9	9,0	5
CC de la Côtère à Montluel	24 598	11,0	2	10	14,8	4
CC de la Dombes	37 907	10,0	0	20	12,0	7
CC de la Plaine de l'Ain	76 879	10,3	4	35	11,2	12
CC de la Vallée du Garon (CCVG)	30 283	11,8	4	15	18,0	6
CC de la Veyre	21 816	10,9	2	12	12,4	4
CC de l'Est Lyonnais (CCEL)	40 387	11,5	5	21	16,5	8
CC de Miribel et du Plateau	23 284	11,5	3	13	17,1	5
CC de Saint-Flour	23 820	6,4	0	3	7,8	4
CC des Baronnie en Drôme Provençale	21 082	7,3	0	7	8,3	4
CC des Collines du Nord Dauphiné	23 898	10,3	1	9	12,7	3
CC des Monts du Lyonnais	34 971	8,2	0	9	10,1	5
CC des Vallons du Lyonnais (CCVL)	28 657	10,2	1	13	14,1	6
CC Dombes Saône Vallée	36 925	10,9	3	17	16,3	8
CC Drôme Sud Provence	41 386	11,5	7	25	13,2	8
CC du Bassin d'Aubenas	39 556	8,5	0	20	10,8	10
CC du Genevois	43 394	10,5	1	13	15,9	6
CC du Pays Bellegardien (CCPB)	21 641	9,0	0	9	10,5	4
CC du Pays de l'Arbresle (CCPA)	37 036	10,0	1	15	13,7	7
CC du Pays de l'Ozon	25 290	12,4	6	15	20,2	7
CC du Pays Mornantais (COPAMO)	27 926	10,4	1	11	14,9	4
CC du Pays Rochois	27 253	11,6	4	14	17,0	6
CC du Val de Drôme	30 415	10,2	2	15	11,3	5
CC Entr'Allier Besbre et Loire	25 348	9,1	0	17	8,7	5

CC Entre Bièvre et Rhône	67 334	11,4	11	43	16,9	18
CC Faucigny-Glières	26 898	12,0	5	15	18,0	6
CC Les Balcons du Dauphiné	75 092	11,0	7	37	11,9	11
CC Les Vals du Dauphiné	61 612	10,3	4	32	12,6	12
CC Loire et Semène	20 493	7,8	0	5	10,2	3
CC Lyon-Saint-Exupéry en Dauphiné	26 673	11,2	2	11	12,9	3
CC Marches du Velay-Rochebaron	30 312	7,8	0	8	9,9	5
CC Mond'Arverne Communauté	39 814	8,6	0	12	10,5	6
CC Pays d'Evian Vallée d'Abondance	39 469	9,8	2	17	16,8	10
CC Pays du Mont-Blanc	44 219	12,5	12	32	17,7	12
CC Plaine Limagne	20 894	9,0	0	10	9,9	4
CC Porte de Dromardèche	46 366	11,1	6	30	13,5	11
CC Rhône Crussol	33 454	11,4	7	21	14,3	8
CC Rumilly Terre de Savoie	30 510	11,2	3	14	12,7	5
CC Saint-Marcellin Vercors Isère Communauté	44 248	10,1	2	25	11,8	9
CC Saint-Pourçain Sioule Limagne	33 839	9,1	0	22	10,4	9
CC Saône-Beaujolais	43 601	10,3	4	22	13,9	9
CC Thiers Dore et Montagne	37 707	8,1	0	15	9,1	7
CC Val de Saône Centre	20 166	10,7	2	11	14,3	4

Annexe 3. Résultats par ville (> 20 000 habitants) : impact sur la mortalité à long terme de l'exposition aux PM_{2,5} et au NO₂

I TABLEAU N° A3.1 I

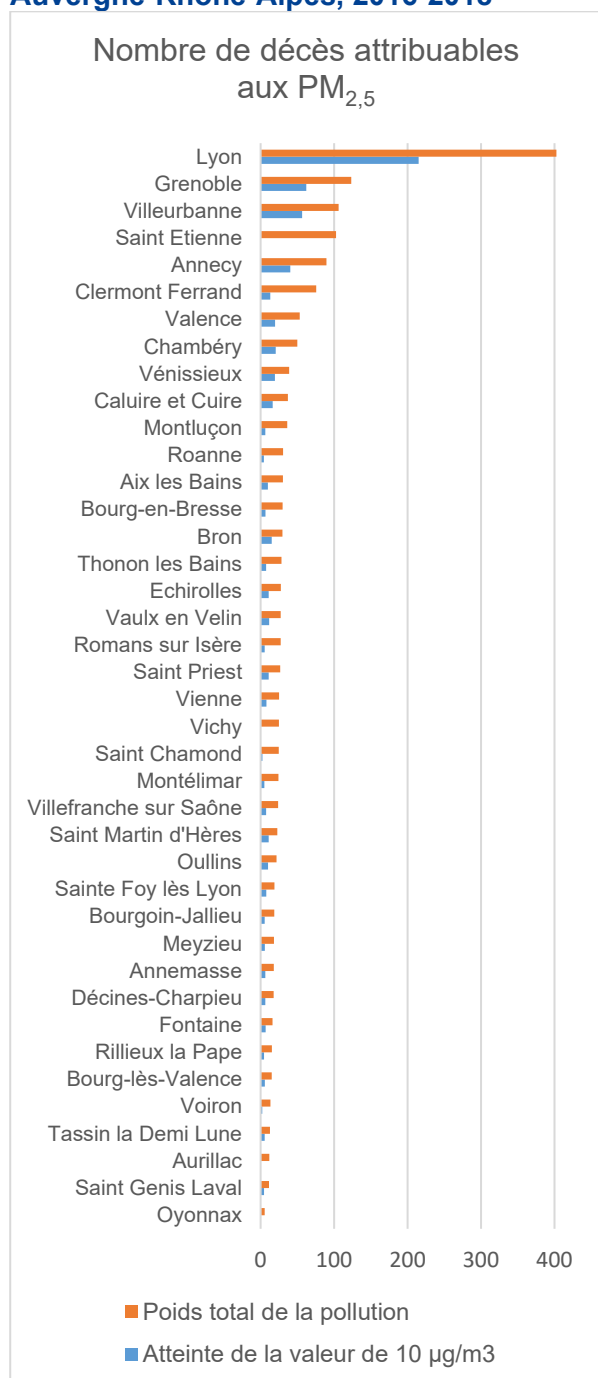
Nombre de décès (N) attribuables aux PM_{2,5} et au NO₂ pour les villes de plus de 20 000 habitants, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Ville	Population	PM _{2,5}			NO ₂	
		Indicateur (µg/m ³)	Atteinte de 10 µg/m ³	Poids total de la pollution	Indicateur (µg/m ³)	Poids total de la pollution
			N	N		N
Aix-les-Bains	29822	12,1	10	30	17,7	12
Annecy	125694	13,5	40	90	23,5	41
Annemasse	35234	12,4	6	18	24,5	10
Aurillac	25875	7,7	0	12	10,9	8
Bourg-en-Bresse	40819	11,2	7	30	16,9	13
Bourg-lès-Valence	20074	12,6	6	15	20,8	7
Bourgoin-Jallieu	27502	11,8	6	19	17,6	8
Bron	40694	14,4	15	30	29,0	15
Caluire-et-Cuire	42292	13,4	16	37	24,2	18
Chambéry	59697	13	20	50	23,4	24
Clermont-Ferrand	141398	10,9	13	76	20,9	44
Décines-Charpieu	27362	12,5	6	18	21,3	8
Echirolles	35648	12,8	11	28	23,3	13
Fontaine	22516	13,2	7	16	22,7	7
Grenoble	160649	14,3	62	123	26,7	59
Lyon	513275	14,9	215	404	29,4	199
Meyzieu	32863	12	6	18	17,8	7
Montélimar	38397	11,2	5	24	15,4	10
Montluçon	36946	10,9	6	36	13,2	13
Oullins	26428	13,8	10	22	26,4	11
Oyonnax	22392	8	0	6	11,0	3
Rillieux-la-Pape	30375	11,8	5	15	20,1	7
Roanne	34831	10,7	4	30	11,5	9
Romans-sur-Isère	33465	11,1	5	27	14,5	10
Saint-Chamond	34870	10,5	3	25	24,5	18
Saint Étienne	171057	9,9	0	103	20,8	72
Saint-Genis-Laval	21342	12,8	5	11	22,6	5
Saint-Martin-d'Hères	38479	13,9	11	23	24,3	10
Saint-Priest	45097	13	11	27	22,9	12
Sainte-Foy-lès-Lyon	21978	13	8	19	23,1	9
Tassin-la-Demi-Lune	21793	13,2	5	13	24,7	6
Thonon-les-Bains	34895	11,5	7	28	20,5	15
Valence	62479	12,5	20	53	20,3	23
Vaulx-en-Velin	47313	13,1	12	27	23,1	13

Vénissieux	64273	14,2	19	39	27,0	19
Vichy	25068	10	0	25	13,9	11
Vienne	29162	12	8	25	18,9	11
Villefranche-sur-Saône	36671	12	8	24	21,5	12
Villeurbanne	148665	14,8	56	106	28,2	51
Voiron	20529	10,8	2	13	17,2	6

I FIGURE N°A3.1 I

Nombre de décès (N) attribuables aux PM_{2,5} et au NO₂ par ville de plus de 20 000 habitants, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018



Annexe 4. Résultats par zone prioritaire :

1. Indicateurs d'exposition

I TABLEAU N°A4.1 I

Exposition annuelle moyenne aux PM_{2,5} par zone prioritaire, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Zone prioritaire	Exposition moyenne aux PM _{2,5}			Exposition communale moyenne de PM _{2,5} > 10 µg/m ³ (ancienne valeur OMS)			
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	Nombre de communes		Population	
				N	%	N	%
Grand Genève	10,9	6	12,6	66	55%	310 971	76%
PLQA Annecy	12,5	8,4	13,5	25	74%	185 463	93%
PLQA Chambéry	12,3	8	13,2	14	37%	120 136	90%
PPA Clermont-Ferrand	10,3	6,7	10,9	9	41%	203 209	70%
PPA Grenoble	11,9	5,4	14,3	103	39%	618 981	81%
PPA Lyon	13,5	9,8	15,6	121	98%	1 592 161	100%
PPA Saint-Etienne	9,8	7,7	11,4	19	35%	126 638	29%
PPA Vallée de l'Arve	12,1	8,1	13,7	31	76%	146 455	92%
Zone Valence	11,5	7,5	12,6	30	54%	203 278	92%

I TABLEAU N° A4.2 I

Exposition annuelle moyenne au NO₂ par zone prioritaire, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Zone prioritaire	Exposition moyenne au NO ₂		
	Ensemble de la zone	Commune la moins exposée	Commune la plus exposée
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Grand Genève	17,5	7,0	24,7
PLQA Annecy	20,1	9,3	23,5
PLQA Chambéry	20,3	9,5	24,3
PPA Clermont-Ferrand	17,6	7,8	20,9
PPA Grenoble	18,5	5,0	26,7
PPA Lyon	24,7	12,6	33,5
PPA Saint-Etienne	18,8	10,9	24,5
PPA Vallée de l'Arve	18,7	11,3	23,1
Zone Valence	15,7	6,8	20,8

I TABLEAU N° A4.3 I

Indicateurs d'exposition à l'ozone (SOMO₃₅ et SOMO₅₀) par zone prioritaire, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016-2018

Zone prioritaire	SOMO ₃₅			SOMO ₅₀		
	Ensemble de la zone	Commune la moins exposée	Commune la plus exposée	Ensemble de la zone	Commune la moins exposée	Commune la plus exposée
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Grand Genève	5 499	4 668	7 482	1 262	1 002	1 743
PLQA Annecy	5 471	5 244	6 005	1 252	1 195	1 379
PLQA Chambéry	5 079	4 676	6 424	1 221	1 066	1 522
PPA Clermont-Ferrand	4 585	4 221	6 330	680	619	961
PPA Grenoble	5 431	4 786	7 363	1 328	1 121	1 694
PPA Lyon	4 603	3 597	6 112	977	609	1 641
PPA Saint-Etienne	5 113	4 575	5 977	1 025	831	1 284
PPA Vallée de l'Arve	5 003	4 609	5 776	1 041	847	1 200
Zone Valence	6 293	5 866	7 721	1 611	1 411	1 790

2. Mortalité à long terme attribuable à la pollution de l'air ambiant (PM_{2,5}, NO₂)

I TABLEAU N° A4.4 I

Nombre moyen annuel de décès (N) et part (%) de décès attribuables aux PM_{2,5} et au NO₂ par zone prioritaire, Auvergne-Rhône-Alpes, 2016 à 2018

Zone prioritaire	PM _{2,5}						NO ₂		
	Atteinte de 10 µg/m ³			Poids total de la pollution			Poids total de la pollution		
	N	IC 95%	Part (%)	N	IC 95%	Part (%)	N	IC 95%	Part (%)
Grand Genève	30	[10 ; 57]	1,6	166	[60 ; 259]	8,7	68	[24 ; 108]	3,6
PLQA Annecy	47	[17 ; 74]	3,7	121	[44 ; 187]	9,5	53	[19 ; 83]	4,1
PLQA Chambéry	34	[12 ; 53]	3,3	94	[34 ; 145]	9,1	43	[15 ; 68]	4,2
PPA Clermont-Ferrand	14	[5 ; 22]	0,6	146	[52 ; 228]	6,4	80	[28 ; 126]	3,5
PPA Grenoble	145	[51 ; 228]	2,7	448	[161 ; 695]	8,3	196	[70 ; 309]	3,6
PPA Lyon	479	[170 ; 752]	4,7	1073	[389 ; 1657]	10,5	514	[183 ; 809]	5,0
PPA Saint-Étienne	8	[3 ; 13]	0,2	244	[87 ; 383]	5,9	159	[56 ; 250]	3,8
PPA Vallée de l'Arve	31	[11 ; 49]	2,9	93	[33 ; 144]	8,8	40	[14 ; 63]	3,8
Zone Valence	43	[15 ; 67]	2,3	152	[55 ; 237]	8,1	59	[21 ; 94]	3,2

IC 95% : Intervalle de confiance à 95%.