



EHESP

**Mastère spécialisé Ingénierie
Management des Risques - Santé
Environnement Travail**

Promotion : **2015 - 2016**

Date du Jury : **Novembre 2016**

**Contribution à l'exploitation du
diagnostic Santé-Environnement
réalisé par la Région Auvergne -
Rhône-Alpes en amont de l'élaboration
du PRSE3**

**Zoom sur les problématiques Bruit-Qualité de
l'air extérieur et populations sensibles**

Marine PHILIPPOT

Lieu du stage : Acoucité, Lyon

Référents professionnels :

Lucie Anzivino, Bruno Vincent

Référent pédagogique :

Séverine Deguen

Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps, toute l'équipe pédagogique de l'EHESP et les intervenants professionnels responsables du Mastère Spécialisé IMR SET, pour avoir assuré la partie théorique de celui-ci.

Je remercie également Séverine Deguen, ma référente pédagogique, pour ses conseils et avis enrichissants qui m'ont beaucoup aidé durant cette mission professionnelle, ainsi que pour son suivi et ses réponses à mes nombreuses questions.

Je tiens à remercier tout particulièrement Bruno Vincent, directeur d'Acoucité, de m'avoir accueillie dans les locaux de l'association, et de m'avoir offert un cadre de travail très agréable. Je te remercie également pour ton suivi lors de ce stage et d'avoir répondu à mes questionnements.

Je remercie Lucie Anzivino, de l'ORS et Xavier Olny du CEREMA pour les données qu'ils m'ont fournis afin que cette mission professionnelle soit menée à terme, pour leur suivi régulier, pour leurs avis enrichissants et pour leurs réponses à mes nombreuses questions.

Merci beaucoup à Anne-Laure Badin, du CEREMA, pour son aide précieuse et ces conseils quant à l'utilisation du logiciel Rstudio, ainsi qu'à toute l'équipe d'Acoucité pour leur chaleureux accueil, leur bonne humeur qui m'a permis de travailler dans de bonnes conditions et leurs réponses à mes questions concernant le logiciel SIG, les données et mesures des nuisances sonores.

Sommaire

Introduction	1
Contexte de la mission professionnelle	1
Objectifs de la mission professionnelle.....	2
1. Etat des lieux des connaissances sur les nuisances sonores et atmosphériques	4
1.1. La réglementation et les enjeux économiques des nuisances environnementales..	4
1.1.1. Les enjeux réglementaires vis à vis des nuisances environnementales.....	4
1.1.2. Les enjeux socio-économiques liés aux nuisances environnementales.....	7
1.1.3. Les impacts sanitaires des expositions environnementales	10
1.2. Les plans santé environnement	16
1.2.1 L'élaboration et le contenu général du PNSE3	16
1.2.2. Les actions du PNSE3 pour lutter contre les nuisances environnementales ...	17
1.3 La plateforme ORHANE	21
1.3.1 Présentation de la plateforme.....	21
1.3.2 Les données utilisées	21
2. Matériels et méthodes	24
2.1 Principaux traitements réalisés sur les données	24
2.1.1. Données socio-économiques	24
2.1.2. Données environnementales	25
2.1.3 Données sanitaires	25
2.2. Méthodologie d'analyse	25
2.2.1. Analyses statistiques et présentation de la méthode.....	25
2.2.2. Représentation géographique	28
2.3. Les données utilisées.....	28
2.3.1. Présentation des données utilisées pour l'analyse statistique.....	29
2.3.2. Les données sanitaires.....	33
2.3.3. Justification des données utilisées dans l'analyse pour la typologie	33
3. Résultats et discussions	35
3.1. Typologies des territoires obtenues	35
3.1.1 Résultats pour les expositions maximales aux nuisances	36
3.1.2 Résultats pour les expositions moyennes et maximales aux nuisances	40
3.1.3 Résultats globaux de la typologie des territoires obtenue	44
3.2. Résultats de l'analyse des données sanitaires	44
3.2.1. Le cas des décès par maladies cardio-vasculaires	44
3.2.2. Le cas des patients sous traitements antiasthmatiques	46
3.3 Discussions des résultats obtenus	48
Conclusion	50
Bibliographie.....	51
Liste des annexes.....	I

Liste des sigles utilisés

ACP : Analyse en Composantes Principales

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

ARS : Agence Régional de Santé

AURA : Auvergne Rhône-Alpes

BALISES : Base Locale d'Informations Statistiques En Santé

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CEREMA : Centre d'Etude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

CGDD : Commissariat Général au Développement Durable

DALYs : Disability-Adjusted Life-Years

DREAL : Direction Régional de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

EHESP : Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

INSERM CépiDc : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Centre d'Epidémiologie sur les causes médicales de Décès

LAURE : Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie

MS IMR SET : Mastère spécialisé en Ingénierie et Management des Risques en Santé Environnement Travail

PPBE : Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ORHANE : Observatoire Régional Harmonisé Auvergne-Rhône-Alpes des Nuisances Environnementales

ORS : Observatoire Régional de Santé

PNSE : Plan National Santé Environnement

PRSE : Plan Régional Santé Environnement

SIG : Système d'Information Géographique

Introduction

L'aménagement du territoire et la santé des populations sont deux notions en forte interaction. L'état de santé des populations ne dépend en effet pas uniquement de la qualité du système de soins qui est proposé mais avant tout des conditions de vie dans lesquelles elles évoluent. De nos jours, la santé ne se limite pas seulement à l'absence de maladie ou à la médecine en générale. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) la définit même comme « un état de complet bien-être à la fois physique, mental et social (...) ».

Aujourd'hui, il est clairement admis que les choix dans l'aménagement du territoire influencent la qualité de vie, la santé et le bien-être des populations. A travers de nombreuses études, des éléments de preuve sont apportés pour prouver l'impact des choix des aménagements sur certains déterminants de santé (WHO Europe, 2010 ; Giles-Corti, 2006; Franck et al., 2003).

Une multitude de facteurs vont alors influencer la santé des populations. Ces facteurs nommés déterminants de santé sont, par définition, « ¹des facteurs qui influencent l'état de santé d'une population, soit de façon isolé, soit en association avec d'autres facteurs. Il peut s'agir de facteurs individuels (âge, sexe, patrimoine génétique ...), socio-économiques (accès au logement, à l'emploi, ...), environnementaux (qualité de l'air, de l'environnement sonore, de l'eau, ...), politiques (urbaines, habitat, ...). » Nous pouvons ainsi voir à travers cette définition que l'exposition des populations aux nuisances sonores et atmosphériques vont influencer la santé de ces dernières.

Contexte de la mission professionnelle

Dans un contexte d'élaboration du futur Plan Régional Santé Environnement (PRSE) de la région Auvergne Rhône-Alpes, déclinaison au niveau régional du Plan National Santé Environnement 3 (PNSE3) élaboré en copilotage des ministères en charge de la santé et de l'écologie, entré en vigueur en 2015, la nouvelle région Auvergne Rhône-Alpes travaille actuellement sur la production d'un diagnostic territorial. D'après l'Instruction du Gouvernement du 27 octobre 2015 relative à la mise en place des PRSE, l'Etat recommande, entre autres, la réalisation d'un diagnostic territorial destiné à « identifier si besoin les enjeux de santé-environnement sur le territoire. ».

En septembre 2015, le Ministère de l'Écologie a lancé, avec trois régions volontaires (Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Auvergne Rhône-Alpes), une expérimentation destinée à construire des éléments méthodologiques communs, basés sur le retour d'expériences locales, pour accompagner les régions qui décident de réaliser le diagnostic territorial.

¹ « Agir pour un urbanisme favorable à la santé, concepts & outils » ; Guide EHESP/DGS, ROUÉ-LE GALL Anne, LE GALL Judith, POTELON Jean-Luc et CUZIN Ysaline, 2014

Ce travail a permis aux Agences Régionales de Santé (ARS), aux Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), aux Régions, aux Cerema et aux Observatoires Régionaux de Santé (ORS) d'échanger sur les pratiques de chacun et a abouti à la production de premiers éléments méthodologiques.

Ce diagnostic comprend deux phases complémentaires : l'établissement d'un état des lieux permettant de décrire de manière objective les contextes sanitaire et environnemental à l'échelle régional ; une phase de consultation des acteurs locaux.

L'état des lieux a pour vocation de fournir un ensemble d'informations objectives sur le contexte environnemental au sens large et sur l'état sanitaire de la population. Dans la mesure du possible, il s'appuie sur des données cartographiques, présentant des indicateurs thématiques. L'étape de consultation vise à faire un bilan des actions déjà menées sur le territoire, d'intégrer les retours des différents acteurs du PRSE et de produire des premiers éléments méthodologiques.

C'est dans ce dernier point que le contexte même de la mission professionnelle s'inscrit. Des analyses de données environnementales telles que les pourcentages de population exposés aux nuisances sonores et atmosphériques, des données socio-économiques comme la défaveur social, l'âge des populations, etc et des données sanitaires ont été effectuées afin de produire des premiers éléments méthodologiques contribuant au diagnostic territorial, étape préliminaire du PRSE3 en région Auvergne Rhône-Alpes.

Objectifs de la mission professionnelle

L'objectif principal de la mission professionnelle est de contribuer à la production d'indicateurs et à une méthode de hiérarchisation des enjeux liés à l'exposition au bruit environnemental et à la pollution atmosphérique sur la Métropole Lyonnaise (un territoire réduit pour les besoins de l'étude servant d'étude de cas), en tenant compte d'un ensemble de déterminants socio-économiques ou sanitaires des populations y résidant.

Ainsi, nous pouvons aussi dire que la mission s'inscrit dans un objectif de pouvoir fournir des clés aux collectivités et aux gestionnaires d'infrastructures pour les aider à réaliser la hiérarchisation des actions du futur PRSE3 Auvergne Rhône-Alpes.

La problématique s'énonce donc ainsi :

Comment construire de meilleurs indicateurs environnementaux, en s'appuyant sur une méthodologie précise, afin d'orienter les actions sanitaires ?

Dans un premier temps la mission professionnelle a consisté en une phase d'acculturation sur les nuisances sonores et atmosphériques et leurs impacts sur la santé, ainsi que sur l'état actuel de l'avancement de l'état des lieux.

Dans un second temps, les données environnementales et sociétales ont été sélectionnées puis regroupées dans une base de données commune et analysées avec un logiciel statistique et avec un logiciel cartographique afin de faire ressortir des zones de territoire aux enjeux communs.

Enfin les résultats de ces analyses de données ont été confrontés aux répartitions géographiques de pathologies afin de rapprocher les déterminants de santé des populations et leur état de santé.

1. Etat des lieux des connaissances sur les nuisances sonores et atmosphériques

Les nuisances environnementales de type pollution atmosphérique et pollution sonore sont surveillées de plus en plus dans de nombreuses villes et de plus en plus réglementées. Ces nuisances impactent les populations exposées, en effet il n'est plus à démontrer que les nuisances environnementales ont des effets sanitaires plus ou moins importants. La pollution atmosphérique et les nuisances sonores sont des pollutions chroniques auxquelles les populations sont exposées quotidiennement. Notons aussi, que des enjeux économiques sont associés à ces impacts sanitaires : par exemple, le coût social annuel de la pollution atmosphérique en France s'estime à près de 50 milliards d'euros.

Rappelons rapidement des définitions :

- la pollution atmosphérique est, d'après la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE)², « l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives » ;
- le bruit est défini par l'OMS, comme « une énergie acoustique audible, qui est ou peut-être néfaste à la santé de l'homme et à son bien-être physique, mental ou social ».

1.1. La réglementation et les enjeux économiques des nuisances environnementales

1.1.1. Les enjeux réglementaires vis à vis des nuisances environnementales

a) *Pour le bruit environnemental*

³En France, la loi « bruit » du 31 décembre 1992 du code de l'environnement a été le premier texte permettant de réglementer les nuisances sonores. Ce texte a pour but de poser des bases cohérentes de traitement réglementaire sur le bruit. Il se décline en décrets et articles selon la catégorie de bruit considérée :

- Décret n°2010-1226 du 20 octobre 2010 relatif au trafic des hélicoptères dans les zones à forte densité de population,
- Article L 571-9 du code de l'environnement impose la prise en compte du bruit dans tout projet neuf d'infrastructures routières ou ferroviaires,

²Loi LAURE : Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie - 30 décembre 2016

³ <http://www.bruit.fr/boite-a-outils-des-acteurs-du-bruit/recueil-des-textes-officiels/loi-cadre-sur-le-bruit/>

- Articles L 571-18 à L 571-21 du code de l'environnement relatif au contrôle et à la surveillance du bruit,
- Décret n° 2006-361 du 24 mars 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement et modifiant le code de l'urbanisme.

Au niveau européen, les nuisances sonores sont aussi réglementées au niveau des agglomérations et des grandes infrastructures via la Directive européenne 2002/49/CE du 25 juin 2002⁴ relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. Cette Directive propose une approche commune aux pays membres en matière de prévention et de réduction des effets nuisibles de l'exposition au bruit des populations. La Directive demande aux agglomérations de plus de 100 000 habitants de réaliser des cartes stratégiques de bruit permettant ensuite la mise en place de plans (comme les Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement) qui viseront à réduire le bruit dans les agglomérations et ainsi de limiter l'exposition à cette nuisance aux populations résidentes. Notons que seuls les bruits liés aux infrastructures et aux industries sont à prendre en considération pour la réalisation de ces cartes (infrastructures routières, ferroviaires, aéroportuaires et industrielles). Les bruits de voisinage, d'activités domestiques, liés au travail, etc., ne sont pas répertoriés pour la réalisation des cartes d'exposition car ils ne sont pas prévisibles et, les cartes actuelles produites couvrent environ 80 % des bruits dans l'environnement. La Directive, de part la réalisation de ces supports, souhaite :

- Evaluer l'exposition des populations en utilisant des méthodes communes,
- Informer le public sur le bruit dans l'environnement et ces effets,
- Adopter des plans d'actions visant à réduire et prévenir le bruit dans l'environnement en se basant sur les cartes stratégiques.

La transposition en droit français reprend cette Directive et la complète avec un ensemble de dispositions définies spécifiquement pour chacune des catégories de bruits considérés.

Des réglementations spécifiques aux travailleurs existent, mais nous ne les détaillerons pas dans ce document.

b) Pour la pollution atmosphérique⁵

Les premières réglementations en vigueur limitant l'exposition à la pollution atmosphérique visaient les industries naissantes dont il était reconnu qu'elles émettaient des nuisances olfactives et visuelles. A compter du 15 octobre 1810, un décret-loi est mis en place afin de classer les établissements industriels « répandant une odeur insalubre

⁴ www.ineris.fr/aida/consultation_document/973

⁵ Rapport Sénat n°160 du 8 juillet 2015 – le coût économique et financier de la pollution de l'air

ou incommode » et de réglementer leurs conditions d'installation. Cette réglementation évolue peu à peu en même temps que l'essor industriel et une réglementation sur les émanations domestiques vient compléter la partie industrielle à compter de janvier 1865. L'émergence de la surveillance de l'air apparaît comme une priorité pour les pouvoirs publics à compter du début du vingtième siècle. La pollution de l'air devient alors une question politique conduisant à élaborer des réglementations nationales. Suite à une étude de 1987 effectuée par l'OMS, les institutions et les populations prennent conscience des effets sanitaires de la pollution atmosphérique sur les populations exposées. Cette étude a été révisée une seconde fois en 2005 et donne des valeurs guides visant à informer les responsables politiques afin d'agir et d'alerter les populations sur les différents effets sanitaires. En novembre 2014, les lignes directrices sont une nouvelle fois actualisées. Ce document émet des préconisations qui s'appuient sur des dernières études quantifiant la mortalité provoquée par la pollution atmosphérique.

Depuis février 1993, un programme communautaire de politique et d'action en matière d'environnement et de développement durable, dans une optique sanitaire a été mis en œuvre. Celui-ci a donné lieu, entre autre, à deux directives européennes :

- Directive 96/62/CE du 17 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant : contribue à la redéfinition des réglementations en vigueur pour la qualité de l'air, en établissant des objectifs d'émission pour cinq polluants déjà réglementés (SO₂, particules en suspension, NO₂, plomb et O₃) et sept substances ou familles de polluants nouvellement pris en compte (benzène, CO, hydrocarbures aromatiques polycycliques, cadmium, arsenic, nickel et mercure). Elle vise également à accroître l'harmonisation des procédures d'évaluation de la qualité de l'air dans les différents Etats membres ainsi qu'à fournir davantage d'informations au grand public ;
- Directive 1999/30/CE du 22 avril 1999 du Conseil relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant : ce texte établit des valeurs limites et fixe des seuils d'alerte pour les polluants déjà identifiés dans la précédente directive des conditions nécessaires à l'évaluation des concentrations, en précisant également l'emplacement et le nombre minimal de points de prélèvement, ainsi que la méthodologie pour le recueil et l'étalonnage des données recueillies par les Etats membres.

La loi n° 96-1236 LAURE sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie assure, notamment, la transposition de ces directives en droit français.

D'autres directives sont aussi effectives depuis les années 2000 et s'intéressent davantage à des polluants en particuliers :

- **Directive 2000/69/CE du 16 novembre 2000** : benzène et monoxyde de carbone dans l'air ambiant ;

- Directive 2001/81/CE du 23 octobre 2001 : polluants acidifiants et eutrophisants ainsi que des précurseurs de l'ozone ;
- Directive 2002/3/CE du 12 février 2002 relative à l'ozone dans l'air ambiant ;
- Directive 2004/107/CE du 15 décembre 2004 : arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant.

L'ensemble de ces directives a établi des valeurs cibles à l'horizon 2010 ainsi que des objectifs à plus long terme.

En outre, le droit de l'Union Européenne comporte deux directives souhaitant combattre la pollution de l'air extérieur :

- Directive 2001/81, du 23 octobre 2001, fixe des plafonds d'émissions nationaux pour le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote ; les composés organiques volatils autres que le méthane et l'ammoniac.
- Directive 2008/50, du 21 mai 2008 sur la qualité de l'air comporte des objectifs de qualité de l'air, notamment pour les PM_{2,5} et PM₁₀, les nanoparticules, le dioxyde d'azote et le benzène.

1.1.2. Les enjeux socio-économiques liés aux nuisances environnementales

Les enjeux économiques liés aux nuisances sonores et à la pollution atmosphérique, pour les pays, sont de plus en plus importants. On entend par « enjeux économiques », le coût social du bruit ou de l'air extérieur comme la somme des coûts provoqués par les dommages provoqués par ces nuisances ainsi que ceux qui permettront de les réduire.

a) Coût associé au bruit⁶ dans l'environnement

Le bruit des transports est la principale source de bruit ambiant. Ainsi, on dénombre environ 9 millions de personnes en France fortement exposées à cette source. Ce chiffre induit des conséquences économiques importantes tant sur le coût des prises en charge médicale des personnes impactées par des nuisances sonores, que sur le coût des projets permettant de limiter ces expositions. En effet, sur ces 9 millions de personnes exposées, au moins 1 million est exposé à des niveaux sonores supérieurs à 55 dB(A)⁷. Le coût social associé aux nuisances sonores se fait ressentir à partir de 45 dB(A) la nuit et de 50 dB(A) le jour, il semble clair que ces expositions auront un fort impact économique. Depuis les années 70, diverses études traduisent l'impact social du bruit via des calculs de coûts économiques. Rappelons que les transports ne sont pas les seules sources de nuisances sonores, les bruits de voisinage et les expositions professionnelles contribuent également aux nuisances sonores environnementales auxquelles sont soumises les populations.

⁶ Analyse bibliographique des travaux français et européens – Le coût social des pollutions sonores – mai 2016

⁷ Noise in Europe - European Environment Agency, 2014

Les dernières études de l'OMS (en 2011, 2012 et 2013) ont permis de calculer des données de coûts sanitaires par individu pour différents effets sanitaires du bruit, à savoir la gêne, les troubles du sommeil et par mode de transports ; pour différents niveaux de bruit. L'OMS se base sur une méthode mesurant la relation entre l'exposition au bruit et ses effets sanitaires (fonctions dose-réponse). Ainsi, il a été permis d'estimer pour chaque impact sanitaire considéré, le nombre de cas attribuables à l'exposition au bruit. Le résultat de l'estimation de la dégradation de l'état de santé des populations exposées est donné grâce à l'indicateur quantitatif des « années de vie en bonne santé perdues ».

Les résultats de l'OMS ont permis de quantifier le coût économique du bruit sur la santé pour la population française : pour les différents modes de transport, chaque année, 11.5 milliards d'euros sont dépensés. Le trafic routier représente 89 % de ce montant. Concernant les effets sanitaires, ce sont les troubles du sommeil qui représentent l'impact le plus fort : 54 % du coût total, devant la gêne et les maladies cardio-vasculaires. Notons également que les coûts sanitaires considérés ont seulement été quantifiés avec un nombre d'années de vie en bonne santé perdues et finalement n'intègrent pas de coûts de prise en charge médicale liée aux pathologies induites (hospitalisation ou médication). Le tableau suivant résume les coûts individuels imputables au bruit des transports pour la gêne et les troubles du sommeil.

	Indicateur de bruit	< 42 dB(A)	42 - 55 dB(A)	55 - 59 dB(A)	60 - 64 dB(A)	65 - 69 dB(A)	70 - 74 dB(A)	> 75 dB(A)
Gêne								
Trafic routier	Lden	0	28	82	130	201	302	302
Trafic ferroviaire	Lden	0	9	34	64	112	184	184
Trafic aérien	Lden	0	32	137	218	315	429	429
		< 45 dB(A)	45 - 49 dB(A)	50 - 54 dB(A)	55 - 59 dB(A)	60 - 64 dB(A)	65 - 69 dB(A)	> 70 dB(A)
Troubles du sommeil								
Trafic routier	Lnight	0	156	232	334	463	617	704
Trafic ferroviaire	Lnight	0	80	117	167	230	306	350
Trafic aérien	Lnight	0	216	308	426	570	740	835

Figure 1 - coût en euros de la gêne et des troubles du sommeil induits par le bruit des transports, par personne et par an, par tranche de 5dB(A) (valeurs pour la France)

**Source – World Health Organization (2011), Burden of disease from environmental noise
Quantification of healthy life years lost in Europe**

Par exemple, le coût annuel de la gêne et des troubles du sommeil pour une personne affectée par un bruit routier à un niveau d'exposition sonore compris entre 70 et 74 dB(A) en journée et entre 60 et 64 dB(A) la nuit, s'élève à 302 + 463 = 765 euros.

b) *Coût associé à la pollution atmosphérique*⁸

Les coûts imputables à la mortalité et à la diminution de l'espérance de vie des populations exposées aux polluants atmosphériques sont indéniables et élevés. D'après un rapport du Sénat sur le coût économique et financier de la pollution de l'air, le coût de certaines stratégies de gestion de la qualité de l'air est inférieur aux bénéfices attendus de la prévention des impacts sanitaires. Les mesures de prévention pourraient donc engendrer des économies pour le pays.

L'évaluation du coût sanitaire de la pollution atmosphérique est basée sur une méthode en deux temps :

- Evaluation du risque en appréciant les impacts des émissions polluantes sur la prévalence de certaines pathologies,
- Monétariser ces effets en les traduisant en coût économique.

Afin de monétariser les effets, généralement les études ont recours à l'indicateur « nombre d'années de vie perdues » lorsqu'il s'agit de quantifier les décès imputables à la pollution atmosphérique. Il est plus difficile de monétariser le coût associé à la morbidité puisqu'il implique des coûts multiples.

Plusieurs études existent sur la quantification des coûts imputables à la pollution atmosphérique, en étudiant principalement les pathologies, mais toutes n'arrivent pas au même montant. Cependant, les travaux de l'Anses⁹ (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) et du CGDD¹⁰ (Commissariat général au développement durable) s'accordent sur une estimation entre 1 et 2 milliards d'euros par an, le coût sanitaire de la pollution de l'air. A ce montant, il est important d'ajouter le coût social que peut représenter les effets sanitaires de la pollution de l'air ; ainsi, d'après l'OMS¹¹, selon les polluants étudiés, les types de coûts et les valeurs tutélaires retenues, il semblerait que le coût social annuel de la pollution atmosphérique en France est estimé à 50 milliards d'euros.

De plus, notons, que des coûts imputables aux nuisances environnementales ne se limitent pas aux coûts sanitaires, comme l'illustre la figure ci-dessous, avec pour exemple la pollution de l'air.

⁸ Rapport du Sénat n°610 – le coût économique et financier de la pollution de l'air, juillet 2015

⁹ Groupe d'étude de l'Afsset, « Étude d'impact sur les coûts que représentent pour l'assurance maladie certaines pathologies liées à la pollution – Illustration avec l'asthme et le cancer », octobre 2007.

¹⁰ Christophe Rafenberg, « Estimation des coûts pour le système de soins français de cinq maladies respiratoires et des hospitalisations attribuables à la pollution de l'air », CGDD, Études et documents, avril 2015.

¹¹ Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, OCDE, « Economic cost of the health impact of air pollution in Europe : Clean air, health and wealth », avril 2015.

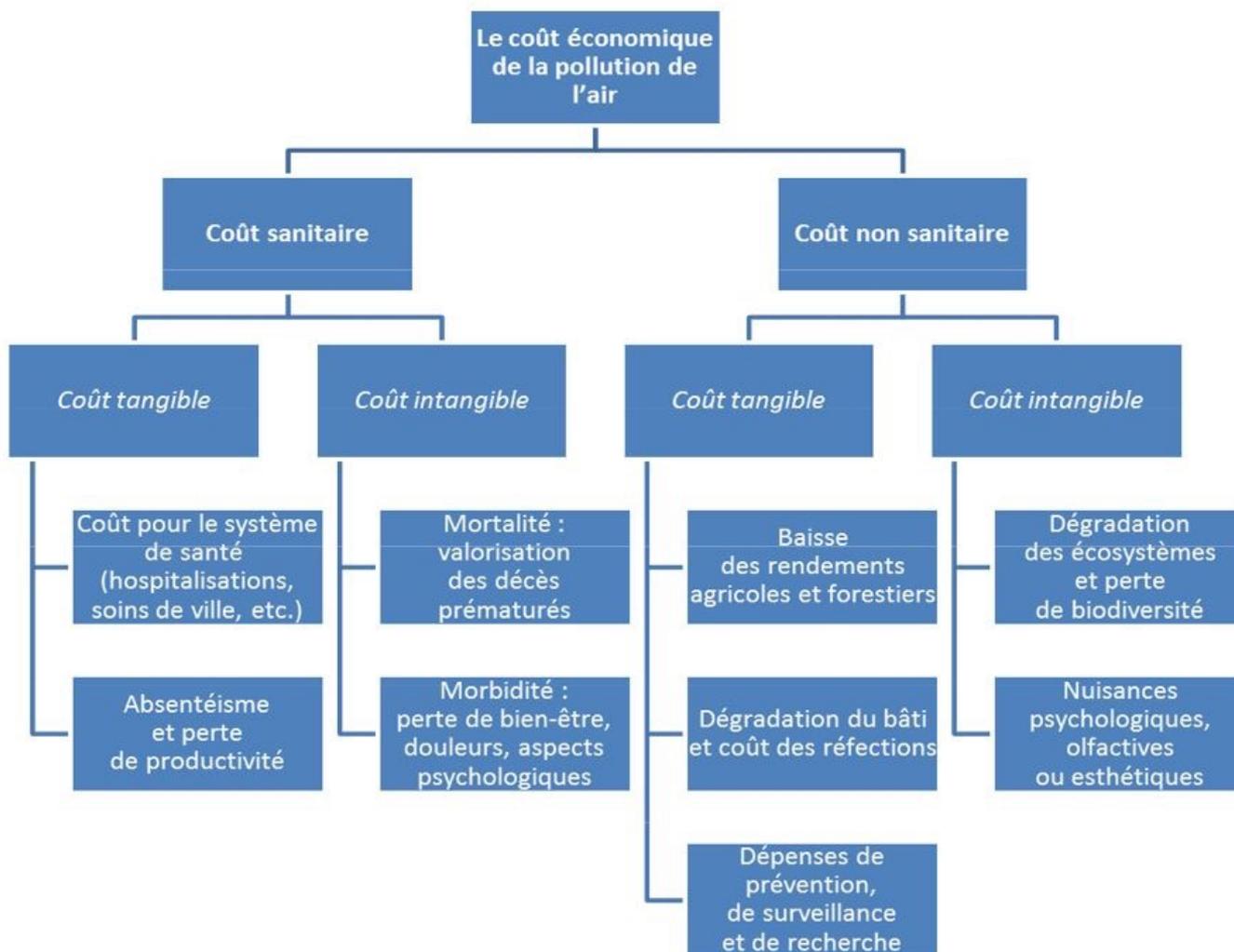


Figure 2 - aperçu du coût économique de la pollution de l'air

Source – commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air, Mme Leila Aïchi - rapport n°610

1.1.3. Les impacts sanitaires des expositions environnementales

a) Les effets sanitaires du bruit environnemental

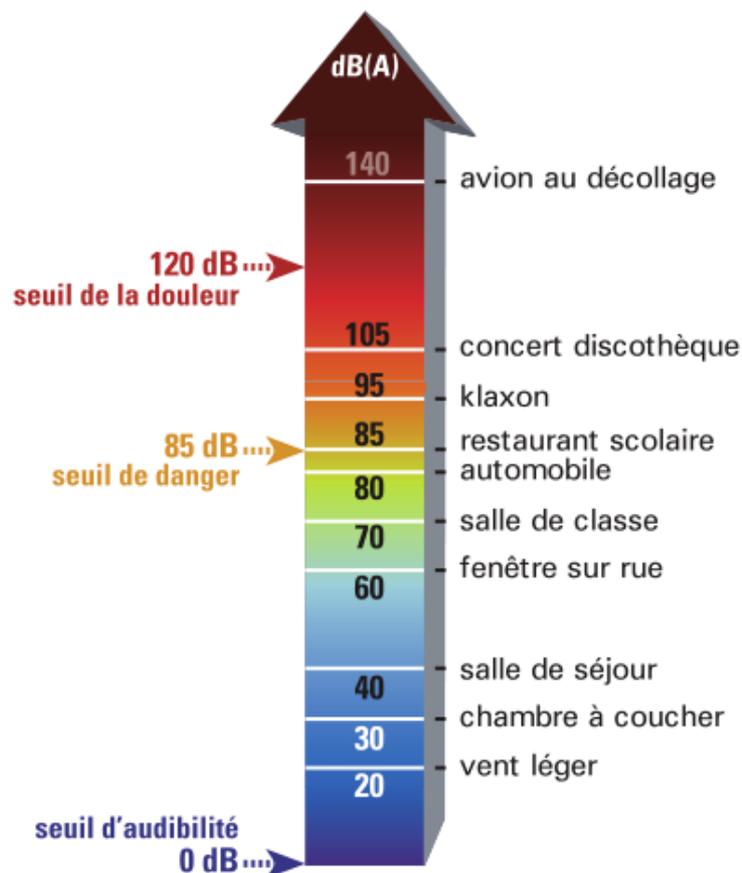
De plus en plus de français dénoncent le bruit comme une gêne récurrente à laquelle ils sont confrontés dans leur vie quotidienne. D'après une enquête de l'INSEE publiée en juin 2012, le bruit est considéré comme préoccupant pour environ 10% des français parmi les causes de dégradation de l'environnement. Ce taux restant assez stable sur les quatre dernières années.

Les conséquences sanitaires d'une exposition prolongée au bruit sont importantes et touchent l'ensemble des populations. Les nuisances sonores environnementales sont imputables pour 68% au transport routier, pour 20% au transport aérien et pour 12% pour le transport ferroviaire, d'après l'ADEME.

L'intensité des bruits se mesurent en décibels (dB), l'unité utilisée pour quantifier l'exposition aux populations aux bruits. Il a été admis que le seuil de la douleur se situe à environ 120 dB(A), sachant que les sons audibles par une personne varient de 0 à 140 dB(A).

A titre indicatif, un second seuil à 85 dB(A) a été défini : c'est le seuil d'alerte pour la santé. Le seuil de danger pour la santé des populations, lui, se situe à 90 dB(A). A partir de ces seuils et d'autres données mesurables, l'échelle de bruit ci-dessous a été construite et est utilisée comme référence.

Echelle du bruit



Source : ADEME

Figure 3 - échelle du bruit
Source – Bruit et Santé, ORS Rhône-Alpes, 2014

Cependant, notons que d'une personne à l'autre l'intensité de bruit ne va pas être perçue de la même manière. La gêne, notion subjective, va être ressentie de manière très variable d'un individu à l'autre et pour une même personne d'une situation à l'autre. Ainsi il est très compliqué de créer une échelle de niveau sonore objective qui donnera une indication absolue de la gêne occasionnée.

Ainsi, les effets sanitaires du bruit sont extrêmement difficile à appréhender dans la mesure où ils dépendent, en grande partie, de paramètres individuels. Néanmoins, ces

effets sont répartis en trois grandes catégories¹² : les effets auditifs, les effets extra-auditifs et les effets subjectifs (non auditifs). Les deux premières catégories d'effets sont mesurables à l'aide de différents paramètres (acuité auditive, dosages biologiques ...) alors que les effets subjectifs non auditifs sont difficilement mesurables. Les effets auditifs sont plutôt reliés aux expositions professionnelles ou aux comportements à risque, alors que les effets extra-auditifs sont davantage reliés aux expositions environnementales et seront d'autant plus pris en compte dans les projets d'infrastructures. Les effets extra-auditifs sont aussi bien observés à court terme (gêne, perturbations du sommeil, ...), qu'à long terme (hypertension artérielle, risques accrus d'infarctus du myocarde, troubles de l'apprentissage scolaire, ...), tout comme les effets auditifs avec une fatigue auditive momentanée pour des expositions temporaires ou des pertes auditives partielles ou totales irréversibles lors d'expositions chroniques importantes. Les effets subjectifs quant à eux sont très variables et se caractérisent par des pertes de productivités, entre autres. En outre, le bruit est capable d'influencer une partie des activités inconscientes de l'organisme (comme le rythme cardiaque, la respiration, la digestion) de jour comme de nuit.

Ces effets ne vont pas être communs à l'ensemble des individus puisque comme nous l'avons exprimé précédemment, des paramètres personnels interviennent dans la perception du bruit. Le bruit possède donc une dimension psychosociologique et territoriale et sa perception va dépendre de composantes multiples (personnelles, contextuelles et culturelles). Les effets peuvent donc varier d'une personne à une autre pour un même niveau d'exposition au bruit. La gêne due au bruit est considérée comme un effet sanitaire mais il peut être un facteur intermédiaire qui participera à d'autres pathologies lorsqu'elle est chronique et qu'elle constitue un facteur de stress continu.¹³

Indicateur quantitatif des « années de vie en bonne santé perdues »

¹⁴L'OMS dans une étude internationale coordonnée par le bureau Europe de l'OMS avec le concours du Centre Commun de Recherche de la Commission Européenne, a évalué, à l'échelle européenne, pour chacun des impacts sanitaires reconnus du bruit, la charge de morbidité au moyen d'un indicateur quantitatif : les années de vie en bonne santé perdues (DALYs : disability-adjusted life-years). Les DALYs représentent pour une année civile donnée le nombre d'années de vie en bonne santé perdues pour une population sur un territoire donné. Cet indicateur est constitué de la somme des années de vie perdue par mortalité prématurée et des années de vie en bonne santé perdues en raison d'une incapacité ou de la maladie.

¹² Bruit & santé, ANSES, 2013

¹³ L'évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental – avis de l'ANSES, février 2013

¹⁴ Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe, WHO 2011

T. Hellmuth, T. Classen, R.Kim, S. Kephelopoulos, « Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise », WHO Regional Office for Europe (2012)

Les relations dose-effet sont dérivées de résultats d'études épidémiologiques. Selon des critères définis, l'OMS a sélectionné une relation dose-effet pour chaque effet sanitaire considéré en lien avec les différentes sources de bruit quand cela était possible. Les données d'exposition des populations utilisées pour construire les relations dose-réponse sont issues des cartographies exigées par la Directive Européenne 2002/49/CE.

Les effets sanitaires considérés sont :

- les maladies cardio-vasculaires,
- les troubles du sommeil,
- la gêne,
- les troubles de l'apprentissage,
- les acouphènes.

L'estimation de la charge de morbidité par effets sanitaires est calculée en utilisant les informations et données suivantes :

- le nombre d'événements sanitaires répertoriés dans la population (incidences et prévalences) pour chaque effet sanitaire considéré,
- la distribution de l'exposition aux différentes sources de bruits dans l'environnement au sein des populations considérées,
- les relations connues de type dose-effet pour chaque effet sanitaire et chaque source de bruit,
- le coefficient sanitaire d'incapacité associé à chaque effet sanitaire.

Les résultats de l'étude de l'OMS montrent qu'au moins un million d'années de vie en bonne santé seraient perdues chaque année en Europe occidentale, sous l'effet du bruit causé par les infrastructures de transport¹⁵ :

- 61 000 ans en raison des maladies cardiovasculaires,
- 45 000 ans en raison des troubles de l'apprentissage,
- 903 000 ans en raison des perturbations du sommeil,
- 22 000 ans en raison des acouphènes,
- 587 000 ans en raison de la gêne.

Ces résultats mettent en évidence l'importance de ce problème de santé publique et ont pour vocation à servir de base à la révision des valeurs guides de l'OMS sur le bruit. De plus, cette étude permet de fournir un appui technique pour la réalisation d'évaluations quantitatives des risques liés aux nuisances sonores environnementales pour la mise en place de politiques environnementale et sanitaire.

¹⁵ Note de synthèse sur l'application à l'agglomération parisienne de la méthode de l'OMS pour la détermination de la morbidité liée au bruit - Bruitparif

L'association Bruitparif, l'observatoire du bruit en Île-de-France a décliné cet indicateur DALYs et l'a quantifié sur l'agglomération parisienne. A partir des données actuellement disponibles, l'association dispose d'une première estimation de la morbidité liée au bruit environnemental au sein de l'agglomération parisienne s'élevant de l'ordre de 66 000 années de vie en bonne santé perdues. Cet impact sanitaire estimé montre l'importance de ce problème de santé publique et peut justifier la mise en place des PPBE, entre autres.

b) Les effets sanitaires imputables à la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est difficile à quantifier de façon exhaustive et provoque de fort impact du fait de son caractère « multi sources » et « sans frontières ». Mais il est important de le prendre en considération puisqu'elle provoque des effets sanitaires importants.

Depuis octobre 2013, l'OMS a classé la pollution atmosphérique comme cancérigène certain pour l'homme, et ce quelle que soit la région du monde où l'on réside.

Les effets sanitaires de la pollution atmosphérique sont multiples et chaque polluant aura des conséquences sur la santé des personnes exposées. Cependant, il est difficile de considérer chaque polluant seul, il est important de qualifier les effets sanitaires de la pollution atmosphérique dans son ensemble, un cocktail de polluants provenant de différentes sources.

Les polluants réglementés, imputables à des impacts sanitaires avérés, sont : les particules fines PM₁₀, PM_{2,5} ; le dioxyde d'azote (NO₂) ; l'ozone (O₃) ; les composés organiques volatils (COV) tels que le benzène ; le dioxyde de soufre (SO₂) ; le monoxyde de carbone (CO) ; le plomb et d'autres métaux lourds et les micropolluants organiques toxiques.

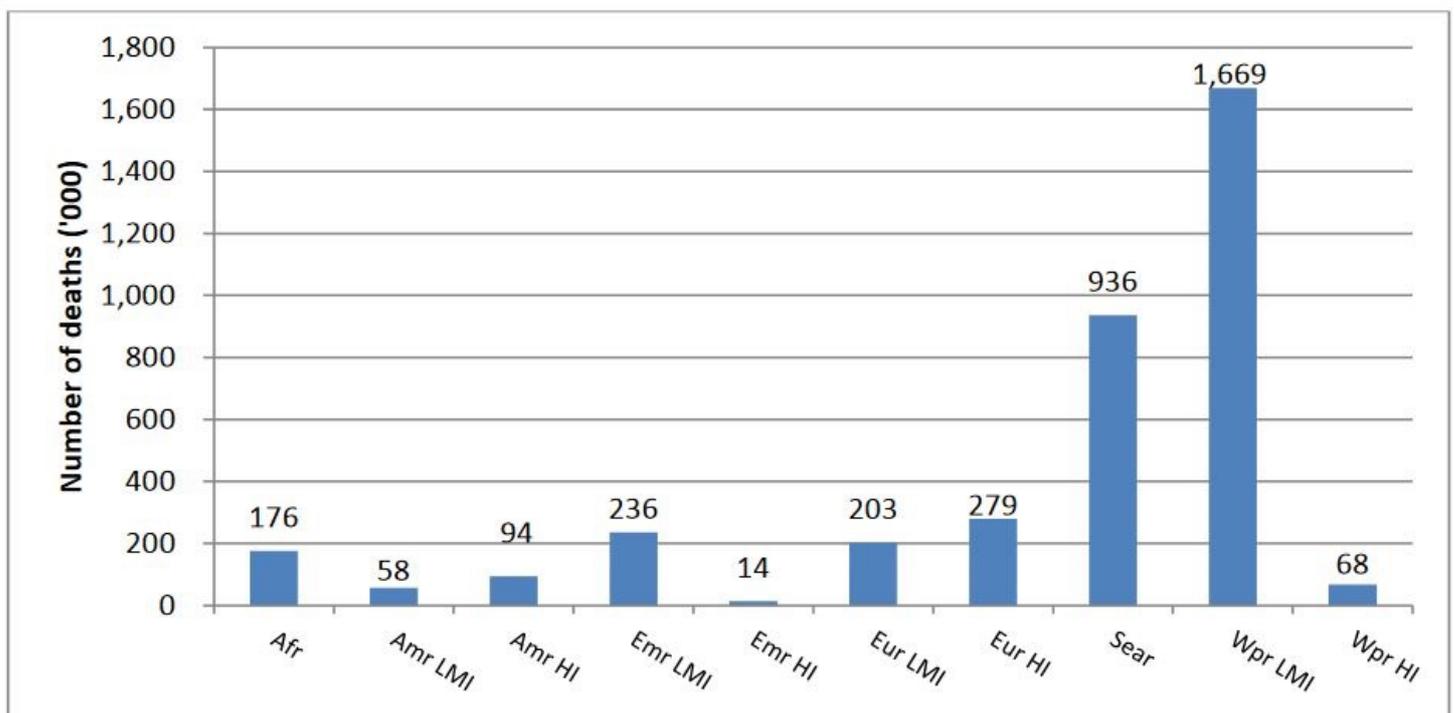
En considérant chaque polluant seul, voici une liste non exhaustive des effets sanitaires provoqués¹⁶ :

- Les particules fines PM10 ou PM2.5, de par leur petite taille, pénètrent en profondeur dans les poumons et peuvent aggraver l'état de santé de personnes atteintes de maladies cardiaques ou pulmonaires. De plus, elles peuvent être à l'origine d'inflammation et transporter des composés cancérigènes jusqu'à la surface des poumons ;
- Le NO₂ est un gaz irritant qui diminue la résistance des poumons aux infections respiratoires (comme la grippe), occasionne une hyperréactivité bronchique chez l'asthmatique, des troubles de l'immunité du système respiratoire et une altération des muqueuses respiratoires ;
- L'O₃ irrite les voies respiratoires et augmente les symptômes des personnes asthmatiques ou atteintes de maladies pulmonaires ;

¹⁶ http://www.airqualitynow.eu/fr/pollution_health_effects.php

- Les COV, comme le benzène, peuvent être à l'origine de maladies chroniques : cancers, maladies du système nerveux central, ... ;
- Le SO₂ peut perturber le fonctionnement des poumons des personnes asthmatiques même à de faibles doses. Le dioxyde de soufre peut s'avérer encore plus nocif lorsque la concentration d'autres polluants est plus élevée ;
- Le CO va empêcher le transport normal de l'oxygène par le sang ;
- Le plomb ou d'autres métaux lourds vont être nocifs même à faible concentration et peuvent détériorer les fonctions mentales des personnes exposées ;
- Les micropolluants organiques toxiques, comme les HAP ou les PCB, ont des conséquences très variées : apparition de cancers, diminution des défenses immunitaires, troubles du système nerveux, ...

Près de 7 millions de personnes sont décédées prématurément en 2012 suite aux expositions à la pollution de l'air intérieur comme extérieur, dont 3,7 millions à cause des sources urbaines et rurales de pollution extérieure, d'après les estimations de l'OMS. Ces chiffres correspondent au double des estimations de l'année précédente.



AAP: Ambient air pollution; Amr: America, Afr: Africa; Emr: Eastern Mediterranean, Sear: South-East Asia, Wpr: Western Pacific; LMI: Low- and middle-income; HI: High-income.

Figure 4 – nombre de morts (en milliers) attribuable à la pollution de l'air ambiant en 2012, par région

Source – OMS – mars 2014

Différentes preuves des effets nocifs de la pollution atmosphérique sur la santé se sont multipliées ces quinze dernières années. De nos jours, aucune étude n'a réussi à établir à

l'échelle d'une population un seuil de concentration sans effet sur la santé¹⁷. En d'autres termes, même à de très faibles concentrations, les polluants atmosphériques présents dans l'air respiré par les populations ont un impact sur la santé. Comme présenté dans le graphique ci-dessus, la pollution de l'air provoque de nombreux décès dans le monde avec la principale charge morbide reposant sur les infections respiratoires, les cardiopathies et les cancers du poumon¹⁸.

De nombreuses études, comme Aphekom¹⁹ en Europe, a démontré l'ampleur des effets sur la santé des populations de la qualité de l'air extérieure. Les résultats de cette étude a montré qu'un gain de près de deux ans d'espérance de vie pourrait être atteint dans les villes européennes les plus polluées. Par exemple, pour Lyon ce gain s'élève à presque 6 mois.

1.2. Les plans santé environnement

Les plans nationaux santé environnement visent à développer une approche pluridisciplinaire et à rapprocher deux domaines très liés : la santé et l'environnement. Ces deux thèmes sont corrélés, l'environnement dans lequel évoluent les populations impacte directement la santé de ces dernières.

Ces plans nationaux témoignent de la « ²⁰volonté [qu'a le] gouvernement de réduire autant que possible (...) les impacts des facteurs environnementaux sur la santé » des populations. Le troisième PNSE a été adopté en 2015 pour une période s'étendant jusqu'en 2019. Les Plans Régionaux Santé Environnement 3, déclinaison du PNSE3 en régions doivent être élaborés courant 2017.

Conformément à l'article L.1311 du code de la santé publique, le PNSE doit être renouvelé tous les cinq ans. La mise en oeuvre des PNSE est placée sous le copilotage des ministères en charge de la santé et de l'écologie. Les PNSE et PRSE sont des plans volontaires, sans réelle obligation réglementaire.

1.2.1 L'élaboration et le contenu général du PNSE3

Suite à la conférence interministérielle de Londres en 1999, puis celle de Budapest en 2004, organisées par l'OMS, et en cohérence avec la stratégie en santé environnement élaborée par la Commission Européenne, que le premier PNSE avait été adopté (2004-2008). Ce plan s'appuyait sur le rapport d'une commission d'orientation et était

¹⁷ Air extérieure et santé – ORS Rhône-Alpes, octobre 2014

¹⁸ Santé et qualité de l'air ; aide-mémoire n°313 – OMS – septembre 2011

¹⁹ Pascal M, Medina S. Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011. Des clefs pour mieux comprendre les impacts de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Europe. InVS, 2012

²⁰ social-sante.gouv.fr - le plan national santé environnement (PNSE3)

construit sur une approche intégrée et globale de l'ensemble des polluants et milieux de vie pour répondre aux enjeux de prévention des principaux risques sanitaires environnementaux. L'ampleur et la complexité de la thématique relative aux liens entre la santé et l'environnement, ainsi que les attentes et interrogations qu'elles suscitent de nos concitoyens, sont tels que l'élaboration d'un PNSE, sa déclinaison en régions et sa mise à jour tous les cinq ans ont été inscrites dans le code de la santé publique. Et enfin, la Charte de l'environnement de 2004 dans son article 1, indique que « chacun a le droit de vivre dans un environnement équilibré et respectueux de la santé ».

Le second PNSE a été adopté en juin 2009 et est le fruit d'une réelle concertation. Il s'est basé sur l'évaluation du PNSE1 et sur les conclusions d'un groupe de travail constitué d'élus, de représentants associatifs, des salariés et des entreprises ainsi que d'experts et de l'Etat.

Le PNSE3 a, quant à lui, été adopté en 2015, et doit permettre de consolider les progrès déjà accomplis mais aussi de proposer une nouvelle approche de la santé environnementale, à la fois plus forte, plus positive et plus ancrée sur les territoires. Il permet aussi d'intégrer le développement de nouveaux concepts scientifiques et plus particulièrement celui d'exposome.

Il s'articule autour de quatre grandes catégories d'enjeux :

- des enjeux de santé posés par les pathologies en lien avec l'environnement,
- des enjeux de connaissance des expositions et des leviers d'action,
- des enjeux de recherche en santé environnement,
- des enjeux pour les actions territoriales, l'information, la communication et la formation.

Son contenu se découpe en grandes parties présentant une problématique en santé environnement et se déclinant en actions à prévoir.

1.2.2. Les actions du PNSE3 pour lutter contre les nuisances environnementales

Le troisième plan National Santé Environnement a été lancé en 2015 afin d'établir une feuille de route au gouvernement permettant de réduire les altérations environnementales qui pèsent sur la santé des personnes. Ce troisième plan national a bien sûr comme objectif de poursuivre et s'accroître les actions ultérieurement conduites par les deux précédents PNSE.

Au sein de ce nouveau Plan national, différents types d'actions sont élaborées et devront être menées sur le territoire pour que chacun puisse vivre dans un environnement favorable à sa santé.

Les actions en lien avec la pollution atmosphérique et celles en lien avec les nuisances sonores sont présentées succinctement dans les paragraphes suivants et détaillées en annexe 1 afin de comprendre les enjeux actuels de ces deux thématiques présents au niveau national.

L'un des documents du PNSE intitulé « les mesures phares » a souhaité faire un condensé des 10 actions immédiates prioritaires. Au sein de ce document, l'action « améliorer la qualité de l'environnement sonore » est présente prouvant ainsi la détermination qu'a le gouvernement à agir sur ces nuisances faisant parties des plus sensibles pour les populations.



Améliorer la qualité de l'ENVIRONNEMENT SONORE

Le bruit figure parmi les principales nuisances ressenties par les Français dans leur vie quotidienne et leur environnement de proximité. En effet, 86 % des Français se déclarent gênés par le bruit¹, en priorité par les infrastructures de transport et les bruits de voisinage.

Comme le rappelle l'Anses dans son rapport de 2013, l'exposition au bruit a des effets sanitaires dits extra-auditifs : certains à court terme (perturbation du sommeil, expression de la gêne, etc.), d'autres après des temps d'exposition relativement longs (difficultés dans l'apprentissage scolaire, effets cardiovasculaires, etc.).

Ces effets, qui ne sont pas spécifiques à l'exposition au bruit et peuvent être observés dans d'autres situations d'agression environnementale, sont aujourd'hui insuffisamment pris en compte.

¹ Sondage IFOP Les Français et les nuisances sonores, octobre 2014

ACTION Publier rapidement un guide pour améliorer la qualité acoustique dans les écoles, développer l'éducation au bruit et à la citoyenneté, notamment auprès des jeunes, et mettre à disposition du public une application sur les 15 points à vérifier en matière de bruit dans les logements.

Figure 5 - action immédiate du PNSE

Source – PNSE3, les mesures phares

Le PNSE3 se décompose en 107 actions. L'un des chapitre du plan national est intitulé « agir pour une meilleure qualité de l'air extérieur ». Ce chapitre regroupe un ensemble d'actions qui devraient permettre de limiter la pollution atmosphérique sur le territoire français. Le gouvernement marque ainsi sa détermination à réduire autant que possible cette nuisance classée cancérigène pour l'homme.

En résumé, voici l'intitulé des actions :

- Cartographier la qualité de l'air des zones sensibles ;
- Elaborer un nouveau programme de réduction des émissions de polluants atmosphériques nocifs pour la santé et ayant un impact sur le climat ;
- Améliorer les connaissances liées à la qualité de l'air à différentes échelles et mieux caractériser les sources.

Ces fiches actions sont davantage détaillées en annexe 1 de ce rapport.

Ces actions relatives à la pollution atmosphérique sont élaborées pour réduire les émissions polluantes provenant de la principale source de pollution à savoir, les transports. A ces actions d'autres vont s'ajouter permettant de lutter contre les nuisances atmosphériques émanant d'autres secteurs : agriculture, industrie...

De même que pour les nuisances atmosphériques, plusieurs actions ciblées sur la réduction des nuisances sonores ont été élaborées dans ce nouveau plan national. Un chapitre intitulé « protéger la population en matière de nuisances sonores » regroupe un ensemble d'actions pour mener à bien les objectifs fixés par le gouvernement :

- Mieux lutter contre les nuisances sonores générées par les deux-roues motorisés ;
- Résorber les points noirs du bruit ;
- Pour la construction des établissements d'accueil du jeune enfant, procéder à l'évaluation des outils d'accompagnement en matière de performance acoustique et proposer, le cas échéant, des recommandations acoustiques permettant leur actualisation
- Développer une communication tenant compte des bonnes pratiques afin de mieux protéger la population des risques auditifs liés notamment à l'écoute de musique amplifiée.

A travers les actions du PNSE, de nombreux acteurs sont impliqués dans la mise en place des actions pour les mener à leur terme. La société civile fait parties de ces acteurs., tout comme des personnes du milieu de la recherche qui sont aussi amenées à travailler pour la mise en place des actions, permettant ainsi d'améliorer davantage les connaissances, notamment, en terme de lien entre la santé et l'environnement.

Notons par ailleurs que le PNSE s'articule avec les autres plans nationaux élaborés (Plan Cancer, Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques, etc) pour assurer une cohérence d'ensemble.

La déclinaison de ce plan national en plan régional est essentielle afin d'adapter les actions aux caractéristiques de la région : les problématiques et les actions à conduire dans des espaces ruraux ou très urbanisés étant bien différentes.

L'amélioration de la qualité de l'air et la réduction du bruit dans l'environnement sont deux des 4 grands thèmes inscrits dans le PNSE3 prioritairement afin de rendre meilleur l'environnement dans lequel les hommes vivent.

Comme énoncé précédemment, l'Instruction du Gouvernement du 27 octobre 2015, recommande, entre autres, la réalisation d'un diagnostic territorial en amont de l'élaboration du PRSE3. La région Auvergne Rhône-Alpes travaille alors sur l'amélioration de la plateforme ORHANE qui a été mise en place pour répondre à une demande des groupes de travail du PRSE2 Rhône-Alpes. Cette plateforme a été élaborée afin d'avoir une vision globale de la coexposition air-bruit cohérente sur le territoire. Cette plateforme s'inscrit directement dans le cadre de l'élaboration du diagnostic territorial pour le futur PRSE3 puisqu'elle permet de répondre aux objectifs « de description de manière objective les contextes environnementaux à l'échelle régionale » et « de consultation des acteurs locaux ».

Les données d'expositions environnementales utilisées dans cette étude sont issues directement de cette plateforme.

1.3 La plateforme ORHANE

1.3.1 Présentation de la plateforme

ORHANE est la mesure 11 du PRSE2 Rhône-Alpes, qui est l'identification et la hiérarchisation, sous forme cartographique, des zones et des populations les plus exposées à la fois aux nuisances sonores et atmosphériques. Cette plateforme fait aussi office de prémices d'une démarche d'état des lieux pour les thématiques air et bruit.

Cette première plateforme régionale permet d'identifier et de hiérarchiser les expositions aux nuisances environnementales (air et bruit). La plateforme met à disposition des cartes d'état des lieux et d'exposition de la population à la pollution atmosphérique et aux nuisances sonores et identifie les zones de co-exposition.

La plateforme offre une cartographie combinée des expositions aux bruits et à l'air grâce à des données harmonisées sur l'ensemble du territoire en intégrant des sources communes pour les deux nuisances : réseaux routiers, aériens et ferroviaires, industrielles. En cartographiant le territoire, les zones altérées, à protéger ou à enjeux ... sont ainsi repérées pour guider les diagnostics locaux et les plans d'actions.

Les cartographies créées et mises en place sur cette plateforme constituent un outil de diagnostic aux acteurs locaux. La connaissance des territoires en matière de coexposition air-bruit est ainsi mise à disposition de tous et l'identification des territoires les plus touchés par ces nuisances environnementales est claire.

La plateforme ORHANE a été ouverte au public le 21 septembre 2016.

1.3.2 Les données utilisées

Pour cartographier les nuisances sonores et atmosphériques, un indicateur de co-exposition air-bruit a été créé.

Tout d'abord deux sous-indicateurs indépendants sont calculés. Ils résultent chacun de modélisation sur le territoire à l'échelle des communes, avec une résolution de 10 x 10 m².

L'indicateur bruit résulte des expositions aux bruits routiers, ferrés et aériens. Les trois types d'expositions ont été dans un premier temps cartographiées indépendamment puis un indicateur bruit est ensuite calculé en chaque point géographique en agrégeant les données de chacune des trois cartographiques. Un indicateur multi-exposition bruit (non réglementaire) est alors calculé, en chaque point géographique, en convertissant les données de chacune des trois cartographies en un indicateur tenant compte de la différence de gêne entre les sources (méthode de la gêne équivalente). Le résultat de cet indicateur de la multi-exposition est ensuite projeté sur une échelle de 1 à 6. L'indice 5 correspond à des niveaux de gêne équivalente (référence route) supérieurs à 65 dB(A). C'est à partir de cette valeur que des dépassements réglementaires (estimés sur les façades des bâtiments) pourraient être observés.

Deux principaux polluants sont généralement étudiés lorsqu'il est question d'appréhender et de quantifier les impacts sanitaires des nuisances atmosphériques : les oxydes d'azote, dont le NO₂ et les particules fines.

Les oxydes d'azote sont produits lors de combustions à haute température ou par oxydation de l'azote atmosphérique dans l'air ambiant. Malgré de nombreux progrès techniques et de nouvelles normes les réglementant, les concentrations d'oxyde d'azote ne diminuent pas dans l'air ambiant, compte tenu de l'intensification du trafic routier.

L'indicateur permettant de quantifier les expositions aux nuisances atmosphériques a été construit en combinant les expositions au NO₂ et aux particules fines (PM10). Le NO₂ a été retenu puisque c'est un polluant ayant un impact sanitaire avéré et il constitue un traceur de la pollution routière c'est-à-dire que les zones enregistrant de fortes concentrations en NO₂ ont également une importante probabilité de contenir des niveaux élevés en monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, composés organiques volatils comme le benzène par exemple, particules fines, hydrocarbures ou métaux lourds, autres polluants émis par la circulation automobile (DELETRAZ, 2002).

Quand aux particules fines, qui sont des substances organiques ou minérales, d'origine naturelle ou anthropique, elles proviennent essentiellement des fumées d'échappement des moteurs diesel et des industries, mais aussi des chauffages domestiques. Elles témoignent d'une pollution urbaine et industrielle mais sont également émises par le secteur tertiaire ou les activités agricoles.

Ainsi pour les nuisances atmosphériques, le processus est équivalent, l'indicateur d'exposition est construit à partir de deux cartographies : celle des concentrations annuelles de dioxyde d'azote (avec la valeur limite annuelle de 40 µg/m³) et celle du nombre de jours de dépassements du seuil journalier en particules PM10 (avec un seuil journalier moyen de 50 µg/m³). L'indicateur air est ensuite calculé pour chaque point géographique en convertissant les données apportées par les deux cartographies en deux sous-indicateurs variant de 1 à 6 puis en prenant le maximum des deux. Le dépassement des seuils réglementaires s'effectue pour un indicateur air dépassant 5.

Un seul et unique indicateur air bruit de co exposition moyenne journalière et annuelle, est utilisé pour les cartographies sur la plateforme ORHANE, il combine l'indicateur bruit et l'indicateur air construits. Le tableau ci dessous résume les indicateurs utilisés dans la plateforme, avec les classes d'exposition correspondantes.

		Zone	Très peu altérée	Peu altérée	Altérée	Dégradée	Très dégradée	Hautement dégradée
Qualité de l'air	NO ₂	Concentration dans l'air (µg/m ³)	NO ₂ ≤ 11	11 < NO ₂ ≤ 29	29 < NO ₂ ≤ 35	35 < NO ₂ ≤ 40	40 < NO ₂ ≤ 60	60 < NO ₂
	PM ₁₀	Nombre de jours de dépassement	PM ₁₀ ≤ 10	10 < PM ₁₀ ≤ 25	25 < PM ₁₀ ≤ 31	31 < PM ₁₀ ≤ 35	35 < PM ₁₀ ≤ 53	53 < PM ₁₀
Bruit	LDEN (equiv. Route)	Indice de multi-exposition (gêne, Miedema)	LDEN ≤ 55	55 < LDEN ≤ 60	60 < LDEN ≤ 65	65 < LDEN ≤ 70	70 < LDEN ≤ 75	75 < LDEN
Co-exposition Air-Bruit		Moyenne						

Figure 6 - description des différentes classes d'exposition

Source - ORHANE

Dans le cadre de la mission professionnelle, une méthodologie permettant d'analyser l'expositions aux nuisances environnementales des populations doit être proposée et ce afin de prendre en considération davantage de critères sociaux. En effet, actuellement, la plate-forme ORHANE a analysé les expositions aux nuisances sonores et atmosphériques des populations sans prendre en considération la sensibilité des populations (âge, variables socio-économiques) et les indicateurs ont été construits en s'appuyant uniquement sur des données réglementaires. Or, afin de croiser ces données avec des données sanitaires, comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, seuls les paramètres environnementaux ne peuvent pas expliquer des situations sanitaires.

Les données socio-économiques mises en parallèle avec des données environnementales et sanitaires sur le territoire permettrait d'analyser l'éventuel lien existant entre inégalités environnementales et les données sanitaires pouvant se dessiner sur le territoire d'étude et peuvent enrichir le diagnostic en contribuant à l'identification des inégalités environnementales territoriales.

2. Matériels et méthodes

L'un des objectifs de cette mission professionnelle est d'élaborer une méthodologie permettant de faire ressortir les territoires les plus vulnérables en termes d'expositions aux nuisances environnementales tout en prenant en compte des facteurs socio-économiques. Cette méthodologie sera à mettre en parallèle avec les disparités sanitaires perçues sur le territoire d'étude. Afin de mener à bien cet objectif, plusieurs logiciels ont été utilisés : un premier permettant de faire l'analyse statistique des différentes données afin de faire ressortir une éventuelle corrélation entre ces dernières et un logiciel de cartographie permettant d'analyser spatialement et visuellement les résultats émanant des analyses statistiques.

Avant de présenter la méthode utilisée, ce court paragraphe présente le territoire de l'étude. Pour les besoins de ce travail, le territoire d'étude a été réduit à la Métropole Lyonnaise. Ce territoire, servant d'étude de cas, comprend 59 communes réparties sur 538 km² et comptent 1 281 971 habitants (au recensement populations de 2014).

Cette entité a été créée au 1er janvier afin que l'action publique soit plus efficace, plus rapide et plus cohérente dans la vie quotidienne et sur l'ensemble du territoire.

Ce territoire se concentre autour de l'agglomération Lyonnaise, se situe dans le département du Rhône et en région Auvergne Rhône-Alpes. En annexe 2 du rapport, une carte de la Métropole Lyonnaise est présente.

2.1 Principaux traitements réalisés sur les données

2.1.1. Données socio-économiques

Le CEREMA a mis à disposition l'ensemble du tableur excel avec l'indice de défaveur social calculé à l'échelle communale sur l'ensemble de la France. A partir de ce fichier, les valeurs utiles, des communes du territoire d'étude ont été extraites et un changement d'échelle a été réalisé. Un fichier de données utiles à la suite du traitement a été alors créé.

Sur ce fichier de données, la variable densité de populations a été ajoutée, en divisant le nombre d'habitants des communes par la superficie communale. Ces données étant issues du recensement populations 2012 de l'INSEE.

Concernant les populations sensibles, le CEREMA a mis à disposition un fichier excel regroupant les effectifs de populations des communes françaises découpées en classes de populations. Les données utiles sur les communes étudiées ont été extraites du fichier puis les pourcentages de populations sensibles ont été calculés en divisant l'effectif de population par le nombre d'habitants sur la commune.

2.1.2. Données environnementales

Les données d'exposition aux nuisances sonores et atmosphériques proviennent des bases de données utilisées pour alimenter la plate forme ORHANE. Les pourcentages de population exposée aux nuisances sonores ou atmosphériques maximales sur les communes concernées ont été extraits du fichier regroupant l'ensemble des communes de Rhône-Alpes.

2.1.3 Données sanitaires

Les données sanitaires utilisées proviennent de la plateforme BALISES (Base Locale d'Informations Statistiques En Santé) alimentée et mise en place par l'Observatoire Régional de Santé de la région Rhône-Alpes. Pour chaque communes, nous avons extraits les données sanitaires qui nous ont été utiles pour la suite de notre travail.

2.2. Méthodologie d'analyse

2.2.1. Analyses statistiques et présentation de la méthode

Le Logiciel Rstudio utilisé permet le traitement et l'analyse statistique de données. A l'aide de ce logiciel, plusieurs Analyse en Composantes Principales (ACP) et Classifications Ascendantes Hiérarchiques ont été réalisées (CAH).

a) L'Analyse par Composante Principale

L'ACP est une technique statistique qui est couramment utilisée pour effectuer des analyses de données multivariées. Elle consiste à synthétiser un grand nombre d'informations, en transformant des variables quantitatives corrélées en variables indépendantes, nommées composantes principales (ROUAUD, 2012). D'une manière générale, nous pouvons dire que l'ACP va chercher à établir des liaisons entre groupes d'individus plus ou moins homogènes (KOUANI et al., 2007).

L'ACP crée de nouvelles variables nommées « composantes principales » permettant de donner des axes de projection sur lesquels les autres variables seront projetées. Le résultat de l'ACP est un cercle de corrélations où les axes factoriels sont des combinaisons linéaires des variables de départ avec une contribution plus ou moins importante de chaque variable.

Par exemple, ci-dessous un cercle des corrélations. Pour le comprendre et l'interpréter, il est nécessaire de savoir que :

- Deux points voisins : les variables sont corrélées,
- Deux points diamétralement opposées : les variables sont anti-corrélées,
- Deux points à 90° l'un de l'autre : les variables ne sont pas du tout corrélées,

- Plus un point est proche d'un axe factoriel plus l'axe est représentatif de la variable associée,
- Plus le point est proche du centre du cercle, moins la variable sera prise en compte dans l'ACP.

De plus, sur chaque axe un pourcentage est obtenu et nous donne la contribution qu'a chaque axe factoriel de l'explication totale du résultat.

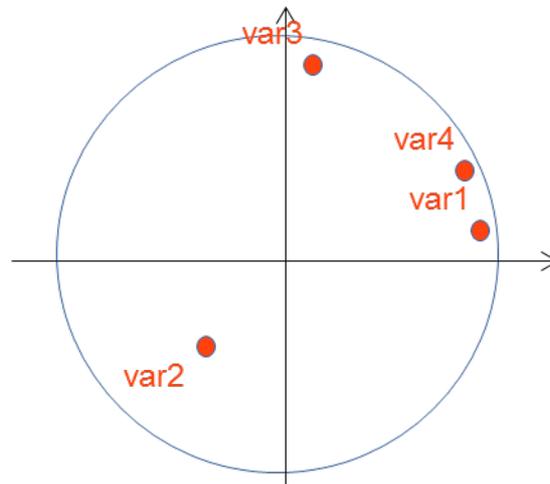


Figure 7 - exemple d'un cercle des corrélations obtenus suite à une ACP

Source - Rstudio

A partir de ce cercle des corrélations, une première interprétation des résultats peut être faite : nous pourrions voir quelles sont les variables qui sont corrélées et varient ensemble et celles décorrélées.

b) La Classification Ascendante Hiérarchique

Suite aux ACP, des Classifications Ascendantes Hiérarchiques ont été réalisées sur les résultats obtenus de l'ACP. La méthode de CAH est une classification automatique qui à partir d'un ensemble regroupant tous les individus va les répartir en un certain nombre de classes. Ainsi cette classification va permettre de déterminer des groupes homogènes d'individus (ici les communes) qui seront caractérisés par des paramètres semblables. Lorsqu'une CAH est réalisée sous le logiciel Rstudio, un dendrogramme apparaît et le logiciel incite l'utilisateur à « couper » le graphique pour la réalisation des classes. Ce dendrogramme permet, donc, de visualiser le regroupement progressif des classes dans le mécanisme de la CAH. Sur le dendrogramme, des « sauts » apparaissent permettant de trouver le nombre de classes pour lesquelles la classification est la plus judicieuse. L'utilisateur choisit lui-même le nombre de classes qu'il souhaite faire mais grâce à l'arbre des corrélations, il peut estimer le nombre de classes le plus judicieux.

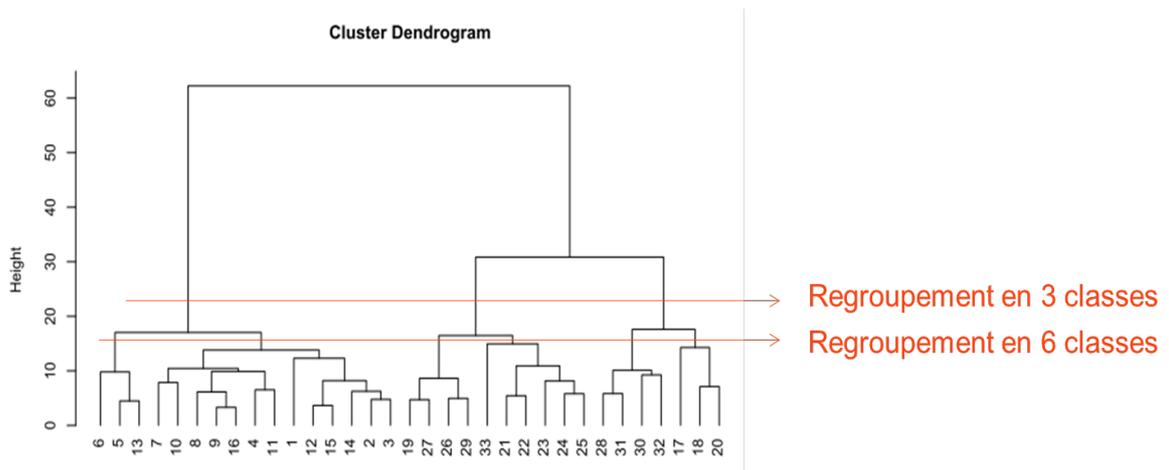


Figure 8 - exemple de dendrogramme précisant où les coupures peuvent être effectuées obtenu en résultat à une CAH
Source - Rstudio

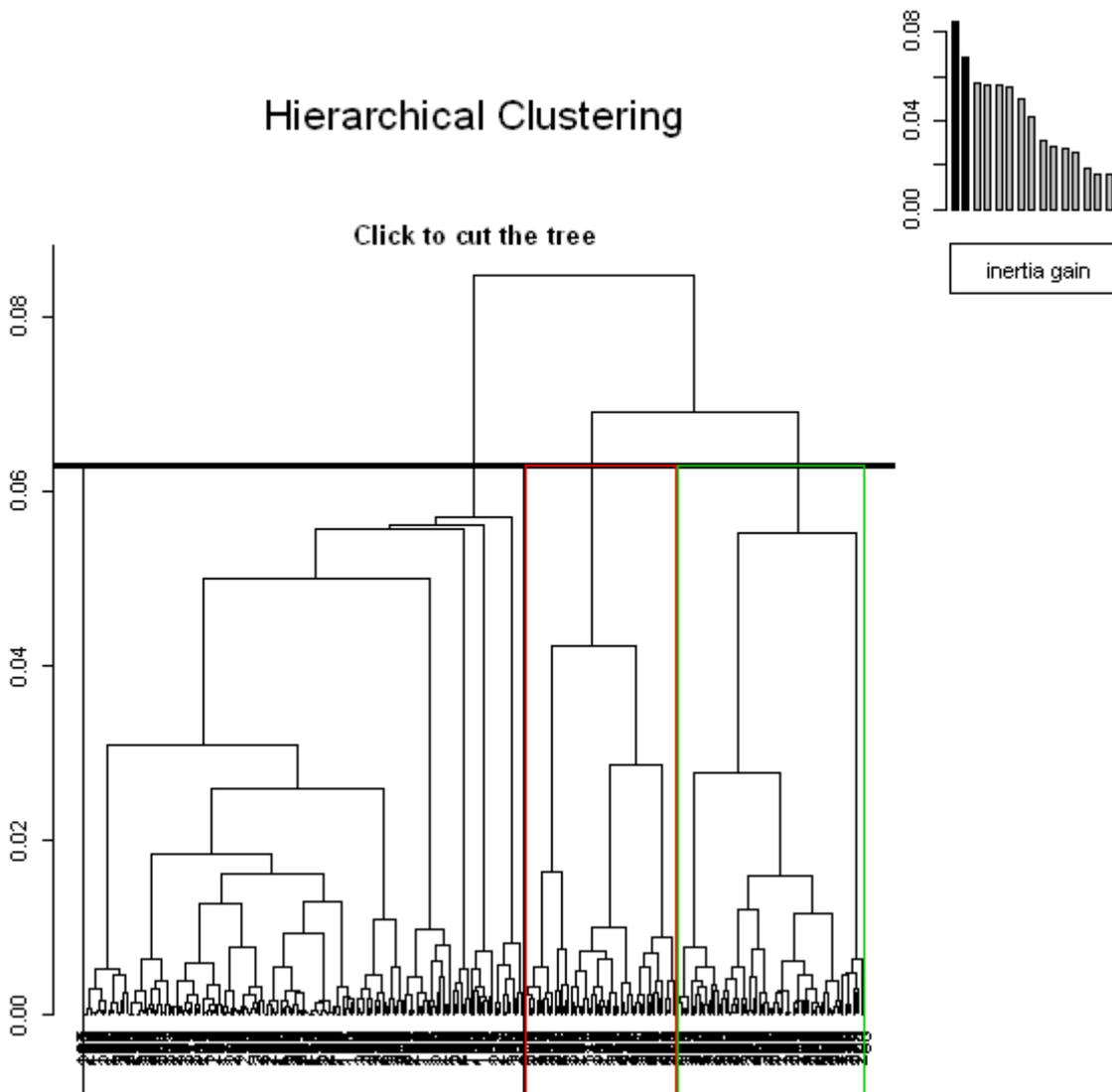


Figure 9 - exemple d'un résultat de CAH indiquant le nombre de classes qu'il est judicieux de faire
Source - factominer.free.fr/classical-methods/classification-hierarchique-sur-composantes-principales

Les données sanitaires quant à elles ont été cartographiées grâce au logiciel SIG afin de les représenter géographiquement et voir si des éventuelles corrélations pouvaient être faites entre les résultats des analyses statistiques et la cartographie sanitaire du territoire.

2.3.1. Présentation des données utilisées pour l'analyse statistique

Plusieurs variables ont été utilisées afin d'atteindre l'objectif. Les variables sont des données environnementales ou sociales :

- Indice de défaveur social (calculé par le CEREMA) : Indic_def_social ou indic_def
- Le pourcentage de populations sensibles : pop_sens
- Le ratio entre les personnes de plus de 65 ans et les moins de 5 ans : ratio_age
- La densité de population : dens_pop
- Le pourcentage de population exposé aux nuisances sonores : bruit_max ou bruit_moymax
- Le pourcentage de population exposé aux nuisances atmosphériques : air_max ou air_moymax

L'ensemble des données ont été traitées à l'échelle de la commune sur un territoire d'étude comprenant l'ensemble des communes de la Métropole de Lyon. Dans un premier temps, le territoire d'étude avait été défini comme étant uniquement Lyon et ces 9 arrondissements mais afin de réaliser une étude statistique, il était primordial d'agrandir ce territoire. De plus, il n'y a pas assez d'hétérogénéité entre les 9 arrondissements pour les variables utilisées pour pouvoir montrer une possible typologie de territoire.

Le choix de l'échelle de la commune s'est fait plutôt par défaut. A cette échelle l'ensemble des données utiles à la réalisation de la mission professionnelle était accessible et sans aléas possible. La commune est aussi l'un des territoires pertinents de mise en œuvre des politiques de réduction des inégalités territoriales.

a) Variable « indice de défaveur social »

L'analyse et la surveillance des inégalités sociales de santé passent par l'élaboration d'indicateurs standards et reproductibles des situations sociales. Ces mesures sont généralement uniquement basées et calculées soit sur le seul statut individuel (profession, catégorie socio-professionnelle, niveau de revenu, niveau d'études etc) soit sur des caractéristiques du contexte de résidence qui s'appuie sur des données agrégées.

Les indices de désavantage social sont souvent utilisés afin d'analyser des différentiels de santé au sein de territoire et peuvent contribuer à la surveillance des inégalités sociales de santé ou à l'analyse des déterminants sociaux et environnementaux de la santé ou encore au ciblage de zones en situation de risque, par exemple.

Ainsi la variable indice de défaveur social utilisée va permettre de caractériser socialement les territoires. Cet indice a été mis en place et calculé par le CEREMA au

niveau national. L'indice de désavantage social s'est basé sur 4 indicateurs (disponibles sur le site INSEE pour l'année 2012) :

- Le revenu par unité de consommation ;
- Le pourcentage de bacheliers dans la population de plus de 15 ans ;
- Le pourcentage d'ouvriers dans la population active ;
- Le taux de chômage.

Ces 4 indicateurs ont été directement calculés à l'échelle de la commune. A l'aide d'une analyse par composantes principales, de ces 4 indicateurs, il en est sorti une équation permettant d'obtenir l'indice de désavantage social avec des coefficients positifs ou négatifs influençant l'indice. Construit comme tel, plus l'indice de désavantage social est faible plus il traduit une situation désavantageuse.

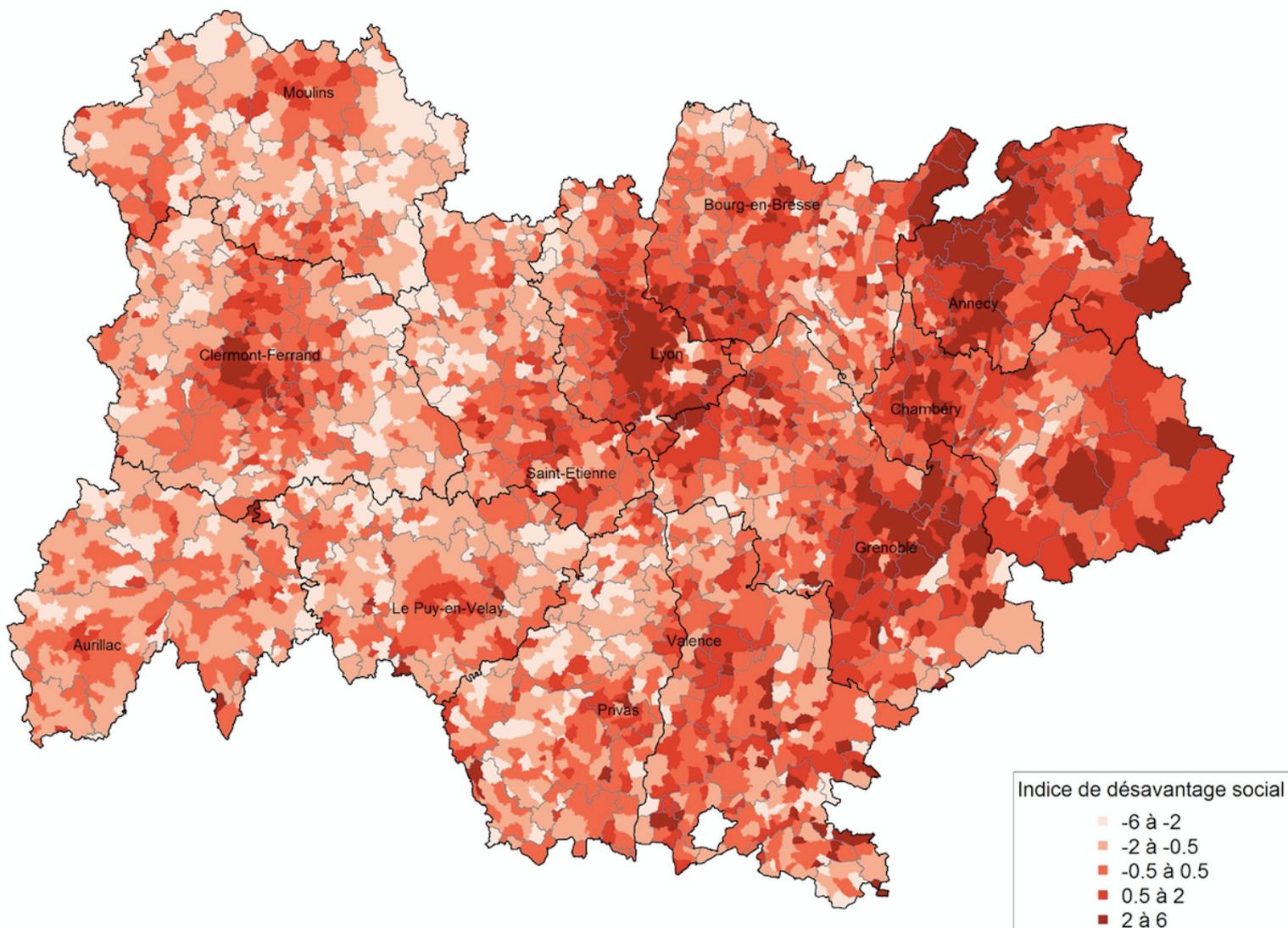


Figure 11 - représentation cartographique de l'indice de désavantage social sur la région Auvergne Rhône-Alpes

Source - CEREMA

Rapidement, nous pouvons voir qu'il y a une forte hétérogénéité sur le territoire de la région. L'indice met en évidence des disparités géographiques importantes. Le sillon alpin et la région lyonnaise apparaissent comme des zones les plus avantageées, selon cet indicateur, alors que les zones rurales situées à l'ouest et au sud sont désavantagées.

b) Variables populationnelles

A partir du recensement, de la population, effectué par l'INSEE, pour le découpage géographique au 1 janvier 2015, nous avons extrait les effectifs de populations des communes du territoire d'étude. Le découpage des âges est en 10 classes. Afin d'extraire les populations sensibles, nous avons fait le choix de recenser les jeunes âgés de moins de 5 ans et les personnes âgées de plus de 65 ans. Ces deux catégories de population sont des populations sensibles à la qualité de l'air extérieure et aux nuisances sonores mais pas avec les mêmes problématiques. Par exemple, les jeunes personnes pourront être impactées par le bruit lors de leur apprentissage et leur concentration alors que les personnes âgées pourront être impactées par des nuisances sonores entraînant des problèmes auditifs. Cependant, nous avons décidé de regrouper les deux pourcentages de populations ensemble afin de créer la variable populations sensibles.

Les pourcentages de population sensible sur l'ensemble du territoire sont agrégés autour d'une valeur moyenne de 24.1 %. Les valeurs de population sensible sur le territoire allant de 17 % à 33 %, avec un écart type de 3.

Pour prendre en compte davantage les populations sensibles lors de cette étude, nous avons intégré une seconde variable démographique, nommée : *ratio_age*. Elle a été calculée en divisant le pourcentage d'individus de plus de 65 ans par le pourcentage de personnes de moins de 5 ans sur les communes. Plus le rapport obtenu est élevé, plus la commune héberge des populations vieillissantes. Grâce de cette seconde variable démographique, les communes sont davantage « catégorisées » selon le type de population qu'elles hébergent.

c) Variable densité de population

Afin de prendre en compte l'urbanisation des communes, la variable densité de population a été intégrée à l'analyse. Cette variable démographique émane du recensement INSEE 2012 et se calcule aisément en divisant l'effectif de population par la superficie de la commune. Avec une première analyse des densités de population retrouvées sur le territoire d'étude, nous pouvons voir que certaines communes sont plus densément peuplées que d'autres, ce qui va sous-entendre un taux d'urbanisation beaucoup plus important. Le taux d'urbanisation d'une commune étant souvent corrélé à de fortes nuisances environnementales.

d) *Variables environnementales : les expositions aux nuisances*

Deux variables ont été utilisées pour caractériser l'exposition des populations aux nuisances sonores et atmosphériques : l'une concerne uniquement l'exposition au bruit et l'autre uniquement l'exposition à la qualité de l'air extérieure. Les données utilisées sont issues de la plateforme ORHANE. Nous avons utilisées les pourcentages de population exposés aux nuisances maximales sur le territoire d'étude. Les données ont été calculées à l'échelle de la commune. Ces données environnementales sont produites par croisement de modélisations.

Comme expliquer précédemment, pour faciliter la lecture de l'exposition des populations aux nuisances environnementales, la plateforme ORHANE a mis en place un indice combinant la qualité de l'air et le bruit. Pour se faire, l'exposition au bruit a été classifiée en 6 classes d'exposition, allant de 1 à 6, caractérisant des zones à préserver à des zones hautement prioritaire dont l'exposition aux nuisances sonores des populations est très importante et dépasse les 75 dB(A). Il en est de même pour les nuisances atmosphériques, l'exposition aux NO₂ et aux PM10 a été classée en 6 classes d'exposition, de 1 à 6 permettant de caractériser des zones très peu altérées jusqu'à des zones hautement dégradée, comme il est indiqué sur l'échelle ORHANE présentée en figure 6 de ce rapport. Les cartographies représentant les expositions aux nuisances sonores moyennes et maximales, aux nuisances sonores maximales et aux nuisances atmosphériques maximales sont présentées en annexe 4.

Lors de l'analyse statistique des données, deux cas on était étudiés :

- Cas 1 : utilisation des expositions maximales aux nuisances sonores et atmosphériques avec le regroupement des classes d'expositions 5 et 6,
- Cas 2 : utilisation des expositions moyennes et maximales aux nuisances sonores et atmosphériques avec le regroupement des classes d'expositions de 3 à 6.

Autrement dit :

- la variable bruit_max utilisée dans l'analyse de données regroupe le pourcentage par commune de personnes exposées à des niveaux de bruit moyens sur 24h supérieurs à 70 dB(A),
- la variable bruit_moymax utilisée dans l'analyse de données regroupe le pourcentage par commune de personnes exposées à des niveaux de bruit moyens sur 24h supérieurs à 60 dB(A),
- la variable air_max utilisée dans l'analyse de données regroupe le pourcentage par communes de personnes exposées en moyenne à des concentrations dans l'air de plus 40 µm/m² pour les NO₂ et dont le nombre annuel de dépassements du seuil journalier en particules PM10 est de 35,
- la variable air_moymax utilisée dans l'analyse de données regroupe le pourcentage par communes de personnes exposées en moyenne à des concentrations dans l'air de plus 40 µm/m² pour les NO₂ et dont le nombre annuel de dépassements du seuil journalier en particules PM10 est de 25.

Le but de ce découpage était de mettre en évidence éventuellement des disparités dans la typologie des territoires selon les classes d'expositions utilisées.

2.3.2. Les données sanitaires

Les données sanitaires utilisées ont été extraites de la plateforme BALISES mise en place librement par l'ORS Rhône-Alpes qui les recense d'après différentes sources d'informations (INSERM, assurance maladie, etc). Cette plateforme, mise à jour régulièrement, permet l'accès à un grand nombre d'indicateurs de santé, déclinés à différents échelons géographiques de la région Rhône-Alpes.

Afin de caractériser le territoire, dans cette mission professionnelle, les données sanitaires utilisées à l'échelle de la commune, ont été :

- le taux standardisé annuel moyen de décès par maladies cardio vasculaires,
- le taux standardisé de patients sous traitement antiasthmatique.

Les taux utilisés et calculés sur la plateforme sont des taux standardisés permettant ainsi de s'affranchir du paramètre âge des populations.

Les données concernant les décès par maladies cardio vasculaires proviennent dans un premier temps de l'Inserm CépiDc (Institut national de la santé et de la recherche médicale, Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès). Ce sont des données sous forme d'effectif qui sont ensuite converties en taux calculés. Les taux standardisés permettent de s'affranchir de l'âge des individus. Les données concernant les patients sous traitements anti asthmatiques proviennent des recensements du régime général de l'Assurance Maladie au niveau de l'ARS (Agence Régional de Santé) et sont mis à jour annuellement.

Le taux standardisé est le résultat de la moyenne pondérée par la population de référence en Rhône-Alpes (d'après le recensement) des taux spécifiques. Les taux spécifiques étant calculés par classes d'âge quinquennal.

Ce sont les taux de décès par maladies cardio-vasculaires et les taux de patients asthmatiques qui ont été choisis pour cette analyse puisque, d'après la bibliographie, nous savons que l'exposition aux nuisances environnementales semblent accroître ces deux pathologies. Concernant les nuisances atmosphériques, les particules, notamment, peuvent pénétrer dans le système respiratoire des populations et déclencher ou accroître des syndromes asthmatiques. Concernant les maladies cardio-vasculaires, les nuisances sonores peuvent accroître le stress chez les populations et accroître ou provoquer des problèmes cardio-vasculaires pouvant conduire au décès.

2.3.3. Justification des données utilisées dans l'analyse pour la typologie

L'état des lieux utile pour le futur PRSE3 de la région Auvergne Rhône-Alpes recense les expositions environnementales des populations et recueille l'état sanitaire de ces dernières. Des données socio-économiques sont aussi intégrées afin de comprendre

davantage comment les expositions environnementales vont influencer les groupes de populations.

Nous avons intégré l'indice de défaveur social dans l'analyse des données environnementales, qui permet de prendre en compte davantage le côté sociologique des populations.

Plusieurs variables populationnelles ont été utilisées afin de caractériser le territoire et de faire ressortir des zones à enjeux où un regroupement de populations sensibles est présent, des zones fortement urbanisées où la densité de populations est élevée, etc. En effet, certains groupes de populations comme les jeunes enfants ou les personnes âgées sont davantage affectés par les nuisances environnementales. Les territoires regroupant ces types de populations présentent un fort enjeu et peuvent être prioritaires pour la lutte contre les nuisances.

Données	Noms dans l'analyse de données	Source	Utilité
Indice de défaveur social	indic_def_soc indic_def_social	Indice calculé par le CEREMA	Variable socio-économique
Densité de populations	dens_pop	INSEE 2012	Prise en compte de l'urbanisation
Populations sensibles	pop_sens ratio_age	INSEE 2012	Variable socio-économique
Expositions aux nuisances sonores	bruit_max bruit_moymax	Calculées par le CEREMA	Variable environnementale
Expositions aux nuisances atmosphériques	air_max air_moymax	Calculées par le CEREMA	Variable environnementale

Tableau 1 - récapitulatif des données utilisées pour effectuer la typologie des territoires

3. Résultats et discussions

3.1. Typologies des territoires obtenues

Grâce au logiciel Rstudio et à des analyses en composantes principales, nous avons pu obtenir des typologies de territoires en effectuant différents tests.

Nous avons souhaité effectuer une typologie de territoires pour les 4 cas suivants :

- utilisation des données d'expositions aux nuisances sonores et atmosphériques maximales
- utilisation des données d'expositions aux nuisances sonores et atmosphériques maximales avec une pondération d'un facteur 2 pour la variable caractérisant l'indice de défaveur social
- utilisation des données d'expositions aux nuisances sonores et atmosphériques moyennes et maximales
- utilisation des données d'expositions aux nuisances sonores et atmosphériques moyennes et maximales avec une pondération d'un facteur 2 pour la variable caractérisant l'indice de défaveur social.

Le script utilisé est en annexe 3 de ce rapport.

3.1.1 Résultats pour les expositions maximales aux nuisances

a) Résultat de l'analyse par composantes principales

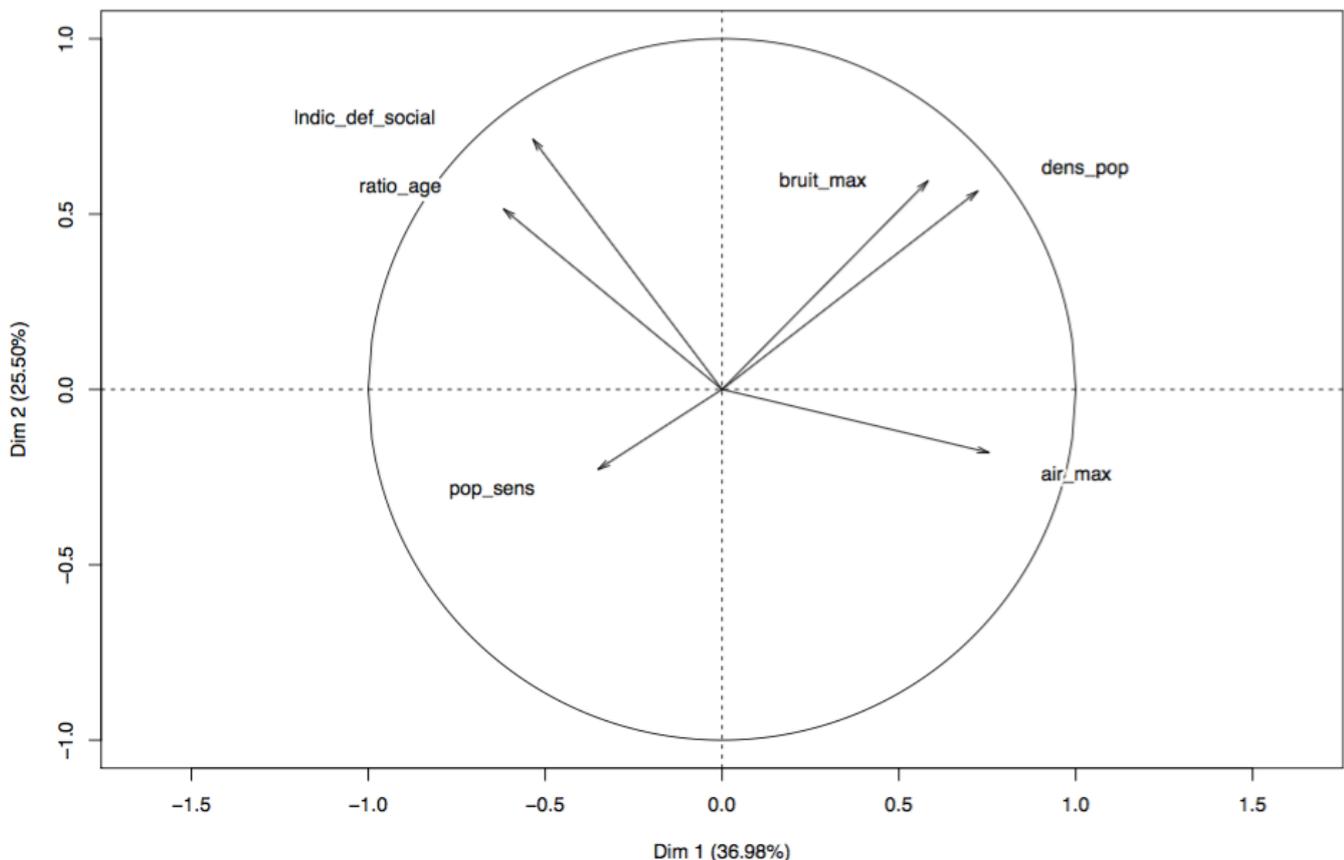


Figure 12 - cercle des corrélations, résultat d'ACP

Source personnelle

Le résultat principal de l'ACP est un cercle des corrélations centré-réduit. Comme énoncé précédemment pour effectuer cette première typologie de territoire et obtenir ce premier résultat nous avons utilisé les variables : pop_sens, ratio_age, Indic_def_social, bruit_max, air_max et dens_pop.

Premièrement, nous pouvons voir que les deux premiers axes ont été retenus et représentent un peu plus de 62 % de l'inertie totale du jeu de données. Le cercle des corrélations obtenus ci dessus représente la structuration des variables autour de ces deux premiers axes.

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
Indic_def_social	-0.5343477	0.7130340	-0.28097587	0.24718563	0.130408200
bruit_max	0.5818802	0.5944393	0.24931837	-0.44094550	0.226722620
air_max	0.7543268	-0.1800691	0.35074122	0.47184190	0.230009666
dens_pop	0.7224759	0.5652652	0.08856236	0.13168740	-0.363198435
pop_sens	-0.3501114	-0.2278875	0.87451386	-0.08549092	-0.079242036
ratio_age	-0.6171440	0.5140290	0.51461677	0.14961631	0.001759642

Figure 13 - contribution de chaque variable sur les dimensions dans l'ACP

Source personnelle

A l'aide du tableau ci dessus, nous pouvons dire que les axes principaux sont principalement portées positivement par les variables air_max et dens_pop pour la première dimension et par les variables Indic_def_social pour la seconde dimension. De plus, négativement, c'est la variable ratio_age qui paraît la mieux corrélée au premier axe. Graphiquement, nous retrouvons ce résultat : plus une variable s'approche de 1 ou de -1 et plus elle est près de l'axe, plus celle-ci aura une forte contribution sur l'axe.

Pour l'interprétation de ce résultat, il est bon d'avoir à l'esprit que deux flèches qui partent dans des sens opposés prouvent que les variables sont anti-corrélées. Et deux flèches formant un angle de 90° sont à interpréter comme deux variables non corrélées.

Ainsi, d'après ce cercle des corrélations, il semblerait que les populations exposées aux classes maximales de nuisances sonores ne sont pas corrélées aux expositions des populations à la classe maximale de pollution atmosphérique ; en effet, les flèches représentatives de ces deux variables forment un angle de 90°. De plus, la densité de population sur les communes du territoire est anti corrélée au pourcentage de populations sensibles résidant sur ces communes, puisque les deux flèches représentant ces variables vont dans des sens opposés. Nous remarquons, de plus, que la variable représentant l'indice de défaveur social n'est pas corrélée à l'exposition maximale au bruit des populations, les deux flèches formant un angle de 90°. Et il en est de même pour les variables représentant la densité de populations et celle représentant l'indice de défaveur social. En outre, les variables indice de défaveur social et ratio âge sont plutôt corrélées et l'exposition maximale des populations aux nuisances atmosphériques semblent anti corrélées à l'indice de défaveur social. Ces résultats sont justifiés par la matrice des corrélations présentées ci-dessous qui permet de mesurer les liens qu'exercent les variables entre-elles. La matrice des corrélations donnent les différents coefficients de corrélation : un coefficient de corrélation positif entre deux variables signifie que la progression d'une variable induit une croissance de la seconde variable. Notons également que plus les coefficients de corrélations s'approchent de la valeur 1, plus les deux variables seront corrélées.

	Indic_def_social	bruit_max	air_max	dens_pop	pop_sens	ratio_age
Indic_def_social	1.00000000	-0.034813865	-0.48278379	-0.01439701	-0.20453897	0.531315546
bruit_max	-0.03481386	1.000000000	0.26344724	0.63837267	-0.09972005	0.007141676
air_max	-0.48278379	0.263447237	1.00000000	0.45295784	0.02569539	-0.307304686
dens_pop	-0.01439701	0.638372671	0.45295784	1.00000000	-0.27865289	-0.100424731
pop_sens	-0.20453897	-0.099720046	0.02569539	-0.27865289	1.00000000	0.479557829
ratio_age	0.53131555	0.007141676	-0.30730469	-0.10042473	0.47955783	1.000000000

Figure 14 - matrice des corrélations

Source personnelle

Comme précisé dans le principe d'une ACP, celle-ci permet, entre autre, de déterminer des groupes d'individus possédant des caractéristiques relativement homogènes en utilisant le résultat de l'ACP pour effectuer une CAH.

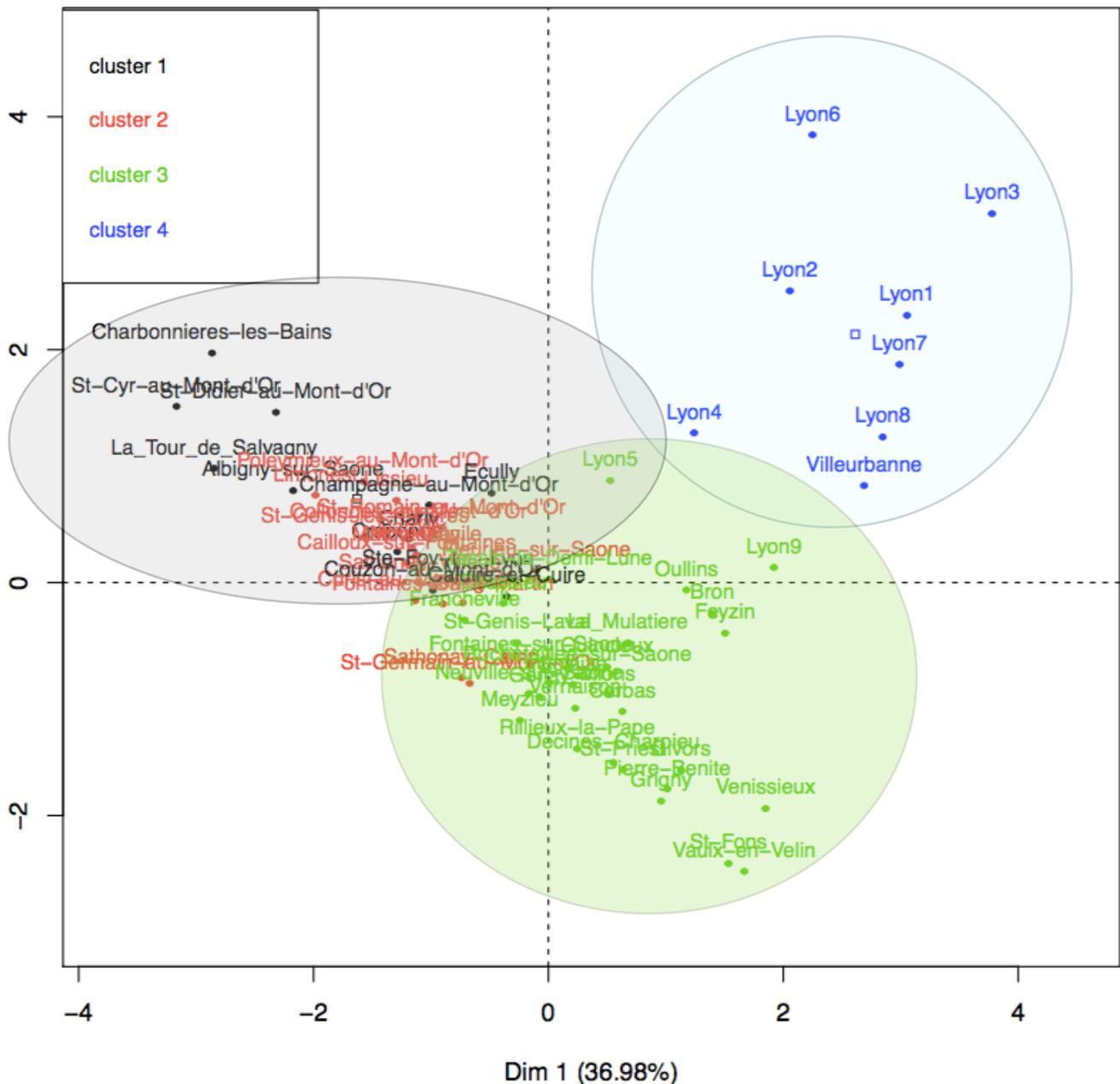


Figure 15 - représentation des classes de communes
Source personnelle

b) Résultat de la classification hiérarchique ascendante

Dans ce premier cas, l'arbre des corrélations obtenus suite à l'ACP nous a indiqué qu'il était judicieux de séparer les communes en 4 classes. Le graphique ci-dessous est alors obtenu.

De ce résultat, émane les interprétations suivantes : une classe semble se démarquer bien du reste des communes du territoire ; elle correspondrait aux communes les plus densément peuplées et où se situeraient les expositions maximales au bruit. Les autres communes ne sont pas aussi clairement discriminées mais deux autres groupes apparaissent : un premier groupe (cluster 1) où les communes semblent être dominées

par des populations vieillissantes favorisées socialement et un second groupe (cluster 3) où les communes hébergent des populations très exposées aux nuisances atmosphériques et plutôt défavorisées socialement.

\$quantil\$`1`	
	v.test
ratio_age	5.878769
pop_sens	4.742079
Indic_def_social	2.513664
air_max	-2.157648
\$quantil\$`2`	
	v.test
Indic_def_social	3.439947
bruit_max	-2.314026
dens_pop	-2.712543
pop_sens	-3.156282
air_max	-5.438807
\$quantil\$`3`	
	v.test
air_max	4.706723
ratio_age	-3.368805
Indic_def_social	-5.483792
\$quantil\$`4`	
	v.test
dens_pop	7.186558
bruit_max	5.674479
air_max	2.632190
pop_sens	-3.221411

Figure 16 - analyse statistique des corrélations entre les classes et les variables

Source personnelle

Les quatre classes établies représentent :

-pour la classe 1 : des communes de l'ouest lyonnais, principalement, situées en périphérie de Lyon, impactées par les nuisances sonores, accueillant des populations vieillissantes et étant favorisées socialement ;

-pour la classe 2 : des communes de l'ouest lyonnais, principalement, situées loin d'axes routiers importants, peu impactées par les nuisances sonores, accueillant des populations favorisées socialement ;

-pour la classe 3 : des communes principalement, de l'est lyonnais, et périphériques de Lyon, proches d'infrastructures routières importantes, ou d'usines chimiques. Ces communes sont plutôt densément peuplées et sont impactées fortement par les nuisances atmosphériques ;

-pour la classe 4 : les arrondissements de Lyon (hors les arrondissements 5 et 9 situés à l'ouest), ainsi que Villeurbanne, commune périphérique de Lyon à l'est. Ces communes sont très densément peuplées (communes les plus peuplées du territoire) et sont plutôt fortement implantées par les nuisances sonores et atmosphériques.

D'un point de vue statistique, le tableau ci-dessus confirme les affirmations précédentes sur la typologie des territoires en affichant pour chaque classes qu'elles sont les variables les plus discriminantes. Dans le paramètre « v.test » (qui fournit la mesure d'association entre variables et distingue les modalités corrélées avec la classe), les variables les plus corrélées positivement avec la classe sont au début et les plus corrélées négativement à la fin. Plus la valeur de « v.test » est élevée, plus la variable est corrélée à la classe.

La typologie du territoire composée ainsi à été cartographiée sous le logiciel ArcMap, et est présenté dans l'annexe 5 de ce rapport.

3.1.2 Résultats pour les expositions moyennes et maximales aux nuisances

a) Résultat de l'analyse par composantes principales

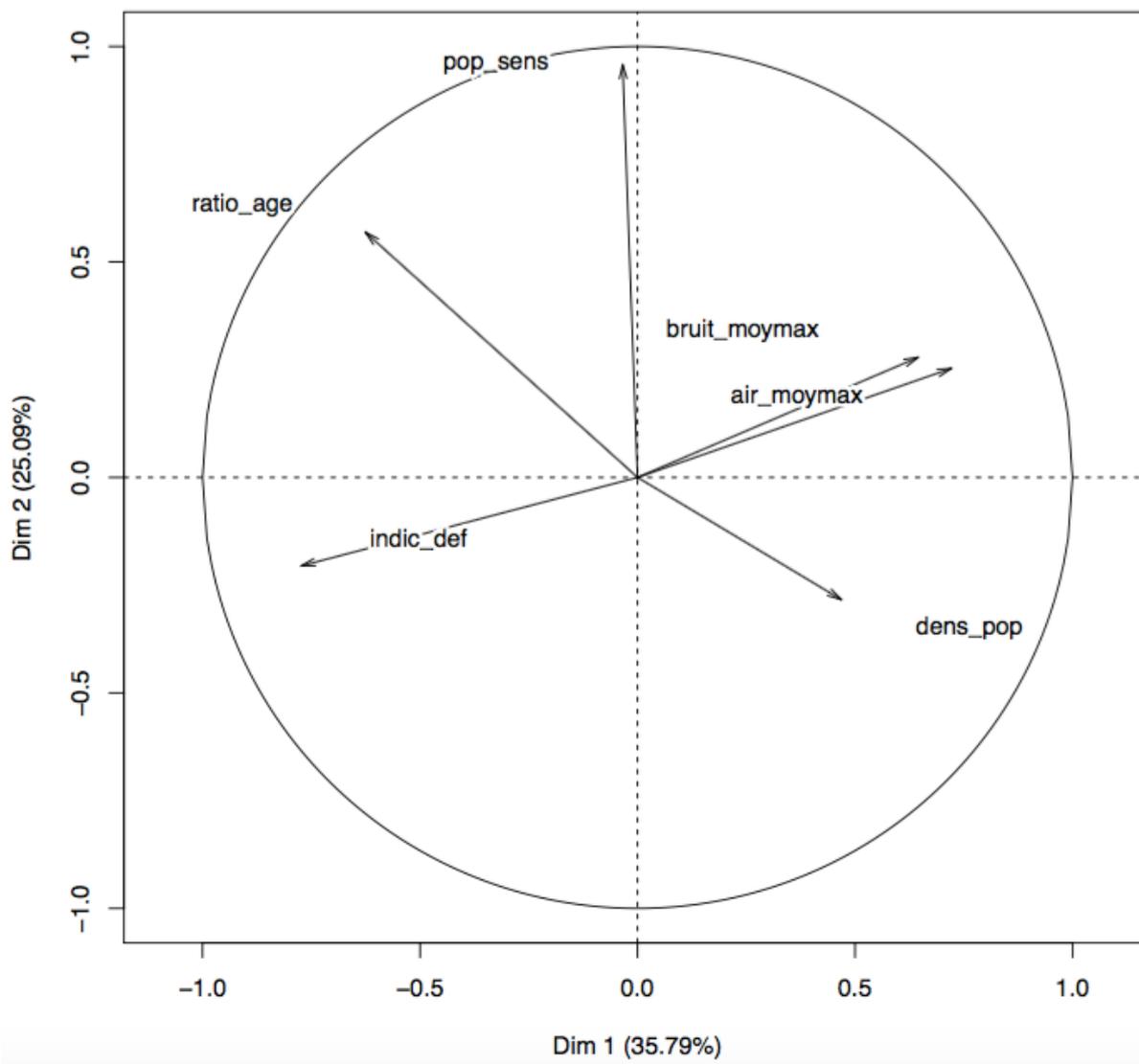


Figure 17 - cercle des corrélations, résultat d'ACP

Source personnelle

Ce résultat principal d'ACP, le cercle des corrélation centré-réduit, a été obtenu en utilisant les variables : pop_sens, ratio_age, indic_def, bruit_moymax, air_moymax et dens_pop.

Premièrement, nous pouvons voir que les deux premiers axes ont été retenus et représentent presque 61 % de l'inertie totale du jeu de données. Le cercle des corrélations obtenus ci dessus représente la structuration des variables autour de ces deux premiers axes.

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
indic_def	-0.77357923	-0.2054339	0.47618107	0.09292529	0.29249326
bruit_moymax	0.64527507	0.2786690	0.35548757	-0.56513800	0.24535317
air_moymax	0.72161485	0.2530829	0.09737620	0.57747776	0.26578755
dens_pop	0.46858619	-0.2835571	0.76090761	0.10716944	-0.32475505
pop_sens	-0.03418346	0.9577830	-0.07755935	0.03581429	-0.15310149
ratio_age	-0.62547295	0.5687770	0.46443837	0.04661409	-0.03691986

Figure 18 - contribution de chaque variable sur les dimensions dans l'ACP
Source personnelle

A l'aide du tableau ci dessus, nous pouvons dire que les axes principaux sont principalement portés positivement par les variables air_moymax et bruit_moymax pour la première dimension et par la variable pop_sens pour la seconde dimension. De plus, négativement, les variables indic_def et ratio_age sont les mieux corrélées au premier axe. Graphiquement, nous retrouvons ce résultat : plus une variable s'approche de 1 ou de -1 et plus elle est près de l'axe, plus celle-ci aura une forte contribution sur l'axe.

En analysant le cercle des corrélations et les directions que prennent les flèches et leurs positions des unes par rapport aux autres, il semblerait que les variables représentant les expositions aux nuisances sonores et aux nuisances atmosphériques soient très corrélées puisque les deux flèches sont très proches. De plus, les variables représentant ces deux nuisances semblent très corrélées à la densité de population sur les communes et anti-corrélées à la variable représentant l'indice de défaveur social. Nous pouvons aussi dire que la variable ratio_age n'est pas du tout corrélée aux variables représentant les expositions aux nuisances environnementales. En outre, les variables populations sensibles, densité de population et indice de défaveur social ne sont pas corrélées entre elles (les flèches forment deux à deux, des angles droits). Ces résultats sont justifiés par la matrice des corrélations présentées ci-dessous qui permet de mesurer les liens qu'exercent les variables entre-elles.

	indic_def	bruit_moymax	air_moymax	dens_pop	pop_sens	ratio_age
indic_def	1.00000000	-0.3686049	-0.4403256	-0.01439701	-0.2045390	0.5313155
bruit_moymax	-0.36860491	1.00000000	0.3097853	0.35336463	0.1586550	-0.1144701
air_moymax	-0.44032559	0.3097853	1.00000000	0.31347108	0.1811145	-0.2347435
dens_pop	-0.01439701	0.3533646	0.3134711	1.00000000	-0.2786529	-0.1004247
pop_sens	-0.20453897	0.1586550	0.1811145	-0.27865289	1.00000000	0.4795578
ratio_age	0.53131555	-0.1144701	-0.2347435	-0.10042473	0.4795578	1.00000000

Figure 19 - matrice des corrélations
Source personnelle

L'ACP permet, entre autre, de déterminer des groupes d'indivis possédant des caractéristiques relativement homogènes en utilisant le résultat de l'ACP pour effectuer une CAH.

b) Résultat de la classification hiérarchique ascendante

Dans ce second cas, l'arbre des corrélations obtenus suite à l'ACP nous a indiqué qu'il était judicieux de séparer les communes en 4 classes. Le graphique ci-dessous est alors obtenu.

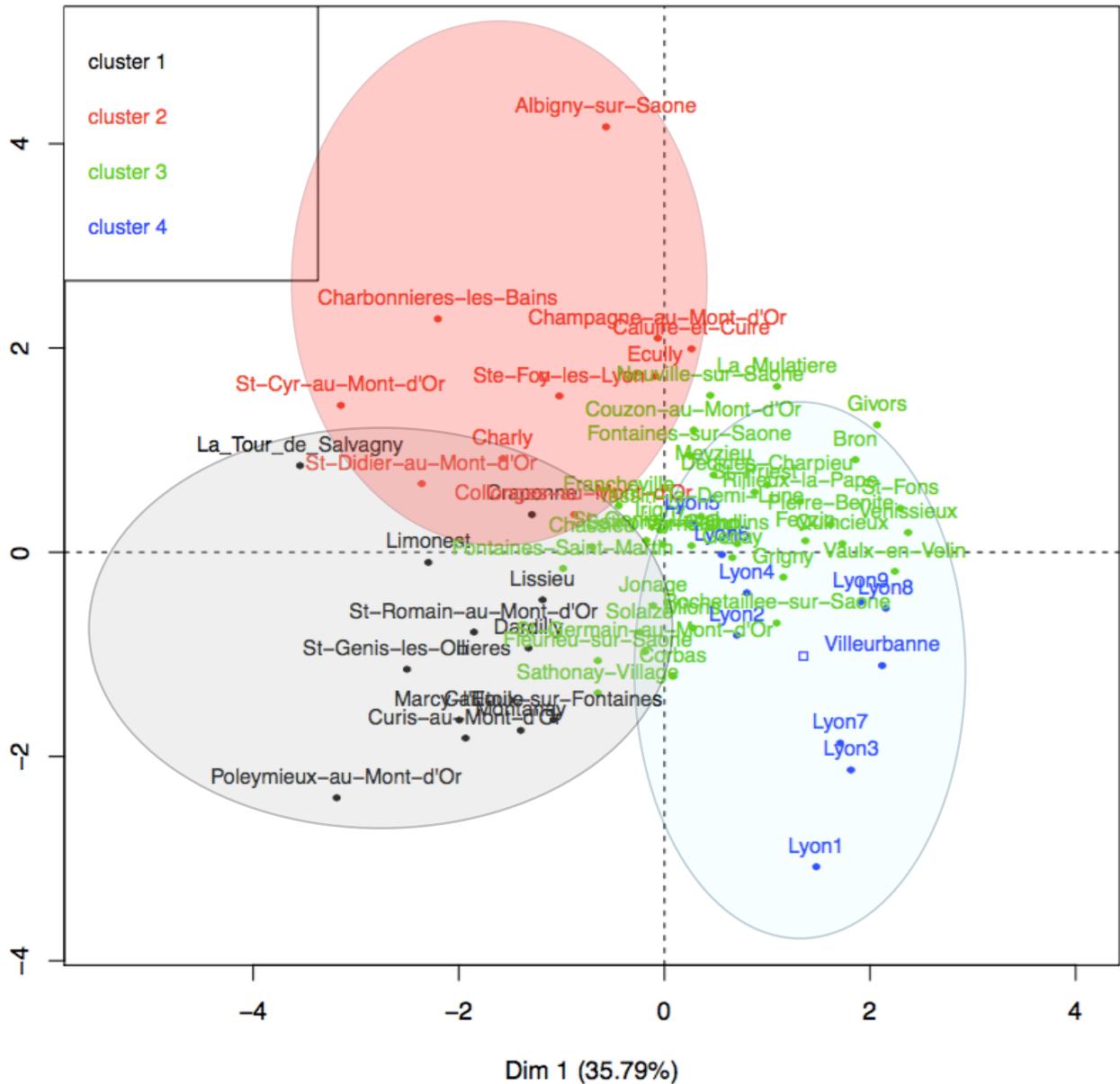


Figure 20 - représentation des classes de communes
Source personnelle

De ce résultat, nous pouvons dire que les communes sont relativement homogènes sur le territoire avec l'utilisation de ces données, puisqu'elles sont plutôt agrégées. Cependant, nous pouvons voir qu'un groupe de communes (cluster 4) qui semble être densément peuplé se détache de l'agrégat pour former une première classe. Une seconde classe peut être (cluster 1) défini en regroupant des communes semblant accueillir des populations favorisées socialement. Une troisième classe (cluster 2) semble se dessiner avec les communes hébergent des populations plutôt vieillissantes et sensibles. Enfin la quatrième classe semble regrouper des communes possédant ces critères à leurs valeurs moyennes.

\$quantil\$`1`	
	v. test
indic_def	3.283981
dens_pop	-2.187999
pop_sens	-2.362463
bruit_moymax	-2.709992
air_moymax	-7.211086
\$quantil\$`2`	
	v. test
ratio_age	5.358850
pop_sens	4.458394
indic_def	2.844924
\$quantil\$`3`	
	v. test
air_moymax	3.837604
dens_pop	-2.735613
ratio_age	-4.000410
indic_def	-4.953029
\$quantil\$`4`	
	v. test
dens_pop	7.186558
bruit_max	5.674479
air_max	2.632190
pop_sens	-3.221411

En s'appuyant sur l'analyse des données brutes, ces quatre classes établies représentent finalement :

-pour la classe 1 : des communes situées dans l'ouest lyonnais, à l'écart des grands axes routiers principaux accueillant des populations favorisées socialement et relativement peu impactées par les nuisances environnementales ;

-pour la classe 2 : des communes situées en périphérie proche de Lyon et de grands axes routiers, hébergeant des populations vieillissantes sensibles exposées aux nuisances sonores et atmosphériques ;

-pour la classe 3 : des communes principalement situées dans l'est lyonnais, encadrées par des infrastructures de transports accueillant des populations « moyennes » exposées à la pollution atmosphérique ;

-pour la classe 4 : les arrondissements de Lyon ainsi que Villeurbanne, communes très urbanisées avec une forte densité de populations, exposées aux nuisances environnementales.

Figure 21 - analyse statistique des corrélations entre les classes et les variables

Source personnelle

La typologie du territoire composée ainsi à été cartographiée sous le logiciel ArcMap, et est présenté dans l'annexe 6 de ce rapport.

3.1.3 Résultats globaux de la typologie des territoires obtenue

a) Récapitulatif et comparaisons des résultats des deux ACP et CAH

De ces deux résultats, nous pouvons déjà dire que les communes se répartissent pratiquement de la même manière lors de l'analyse en prenant en compte les nuisances environnementales maximales et celle avec les nuisances environnementales moyennes et maximales.

Il semble y avoir un gradient sur le territoire d'ouest vers est, de communes accueillant des populations vieillissantes et favorisées socialement peu impactées par les nuisances vers des populations vulnérables socialement fortement exposées aux nuisances. Les communes les plus densément peuplées sont exposées fortement aux nuisances environnementales et se situe au centre de ce gradient. Il semblerait donc que les expositions aux nuisances environnementales soient anti-corrélées à l'indice de défaveur social. Les populations les plus défavorisées socialement sont les plus exposées aux nuisances environnementales concernant les communes périphériques de Lyon mais à Lyon où les nuisances environnementales sont les plus importantes, on retrouve des populations plutôt très favorisées socialement et aussi des populations défavorisées.

b) Comparaison avec une pondération

Afin de donner du poids à certaine variable qui peuvent être noyées dans l'ensemble des données, nous avons effectué deux analyses par composantes principales ainsi que deux classifications hiérarchiques complémentaires en pondérant d'un indice 2 la variable représentative de l'indice de défaveur social.

Les résultats de ces deux analyses, présentés en annexe 7 sont semblables aux résultats obtenus sans la pondération, avec des classes de communes homogènes semblables aux classes de communes obtenues et présentées dans les paragraphes précédents de ce rapport.

3.2. Résultats de l'analyse des données sanitaires

3.2.1. Le cas des décès par maladies cardio-vasculaires

Le nombre de décès par maladies cardio-vasculaires est en constante augmentation. La bibliographie nous permet de dire qu'une exposition importante aux nuisances sonores et atmosphériques peut provoquer un risque accru de décès par maladie cardio-vasculaire. Cependant, de nombreux autres critères entrent en jeu donc il est toujours complexe de relier un taux de décès par maladies cardio-vasculaires élevés avec une exposition chronique importante aux nuisances environnementales.

Sur le territoire de la Métropole Lyonnaise, nous avons cartographié le taux standardisé annuel moyen de décès par maladies cardio-vasculaires afin de voir si une éventuelle

tendance se dessinait sur le territoire. Le résultat présenté sous forme de carte est présenté ci dessous.

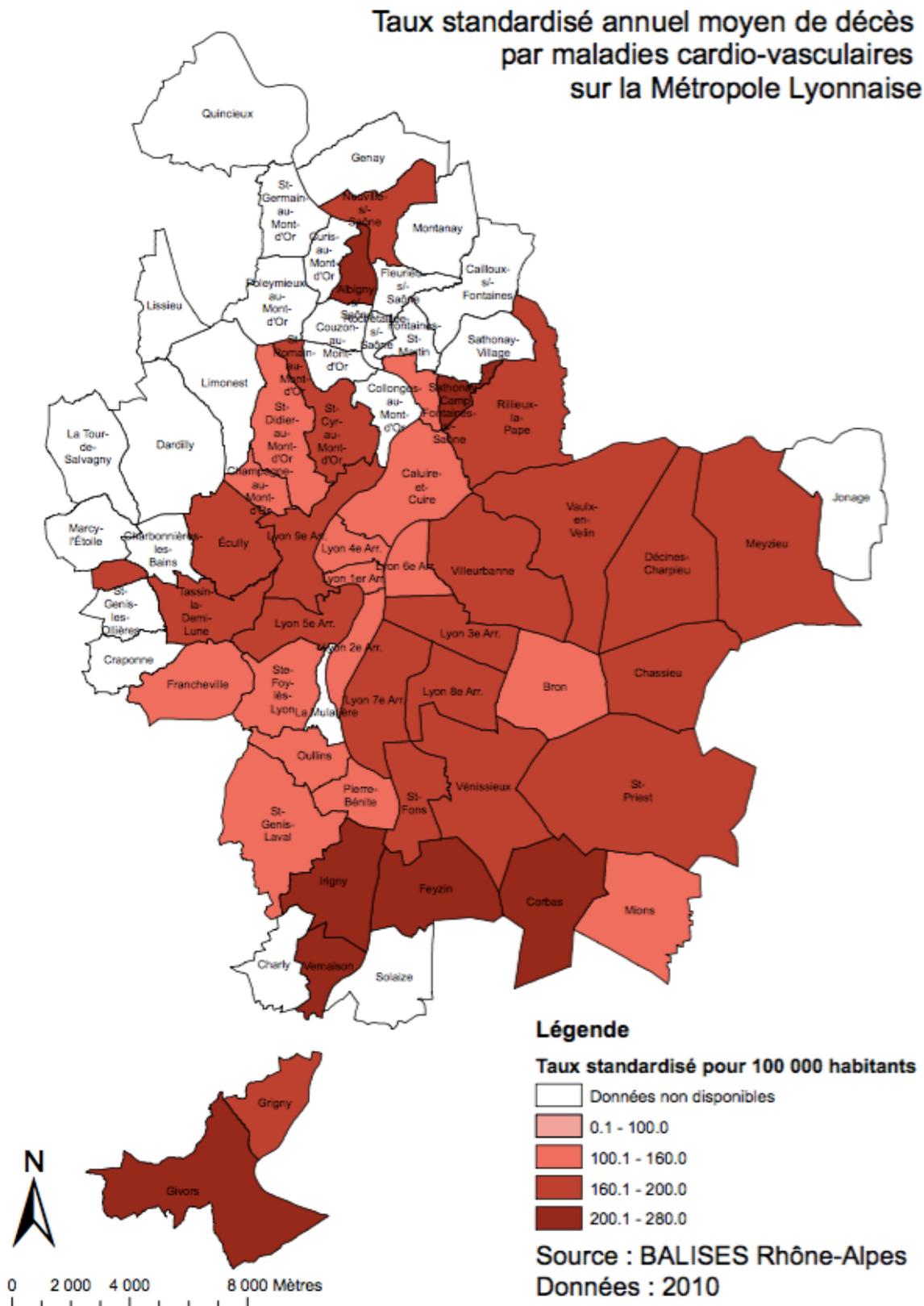


Figure 22 - carte représentant le taux standardisé annuel moyen de décès par maladies cardio-vasculaires sur la Métropole Lyonnaise
Source personnelle

Nous pouvons ainsi voir qu'il ne se dessine pas vraiment de gradient sur le territoire. Les communes où le taux standardisé moyen annuel de décès par maladies cardio-vasculaires est assez faible se situent principalement en périphérie de Lyon, dans l'ouest de la Métropole. Notons également, d'après l'ORS, que les communes où les données ne sont pas disponibles, le nombre de décès par maladies cardio-vasculaires est le plus faible du territoire. Ces communes étant situées à l'ouest du territoire, et plutôt éloignées des grands axes de transports.

La moyenne nationale du taux standardisés de mortalité par maladie cardio-vasculaire est de 90 pour 100 000 personnes chez les hommes et de 65 chez les femmes. La Métropole Lyonnaise se situe donc dans la moyenne supérieure. La moyenne sur la région Rhône-Alpes du taux standardisés de mortalité par maladie cardio-vasculaire est de 187 pour 100 000 habitants. La Métropole Lyonnaise se situe de nouveau légèrement au dessus. Une carte nationale récapitulant les taux standardisés de décès par maladies cardio-vasculaires pour les femmes et pour les hommes est présentée en annexe 8.

3.2.2. Le cas des patients sous traitements antiasthmatiques

Pour cette deuxième analyse, nous souhaitons avoir des données différentes des premières, et étudier plutôt des taux de patients sous traitements. Nous avons choisi les taux de patients sous traitements anti asthmatiques puisque nous pouvons admettre que l'asthme, maladie chronique respiratoire, peut être corrélée de plus en plus aux expositions aux nuisances atmosphériques. En effet, les particules fines, notamment, présentent dans l'air ambiant pénètrent dans le système respiratoire des personnes et provoquent des irritations et des difficultés à respirer provoquant ainsi des syndromes asthmatiques. Des expositions aux nuisances atmosphériques prolongées et importantes pourraient ainsi provoquer ou accroître les syndromes asthmatiques. Néanmoins, d'autres facteurs sont à prendre en considération et le rapprochement entre événements sanitaires et expositions environnementales est complexe, dépendant de multiples facteurs.

Sur le territoire de la Métropole Lyonnaise, le taux standardisé de patients sous traitements anti asthmatiques se répartit comme sur la carte ci-dessous.

Sur cette carte, nous remarquons que le taux standardisé de patients asthmatiques est bien majoritaires à l'est du territoire qu'à l'ouest. Nous pouvons voir qu'il y a un gradient d'ouest en est de patients sous traitements anti asthmatiques de plus en plus importants. En faisant une analogie avec les analyses de données environnementales, nous pouvons dire que les taux de patients asthmatiques ne sont pas les plus importants sur les communes les plus densément peuplées et les plus exposées aux nuisances environnementales, comme c'est le cas dans les arrondissements de Lyon.

Taux standardisé de patients sous traitement antiasthmatique sur la Métropole Lyonnaise

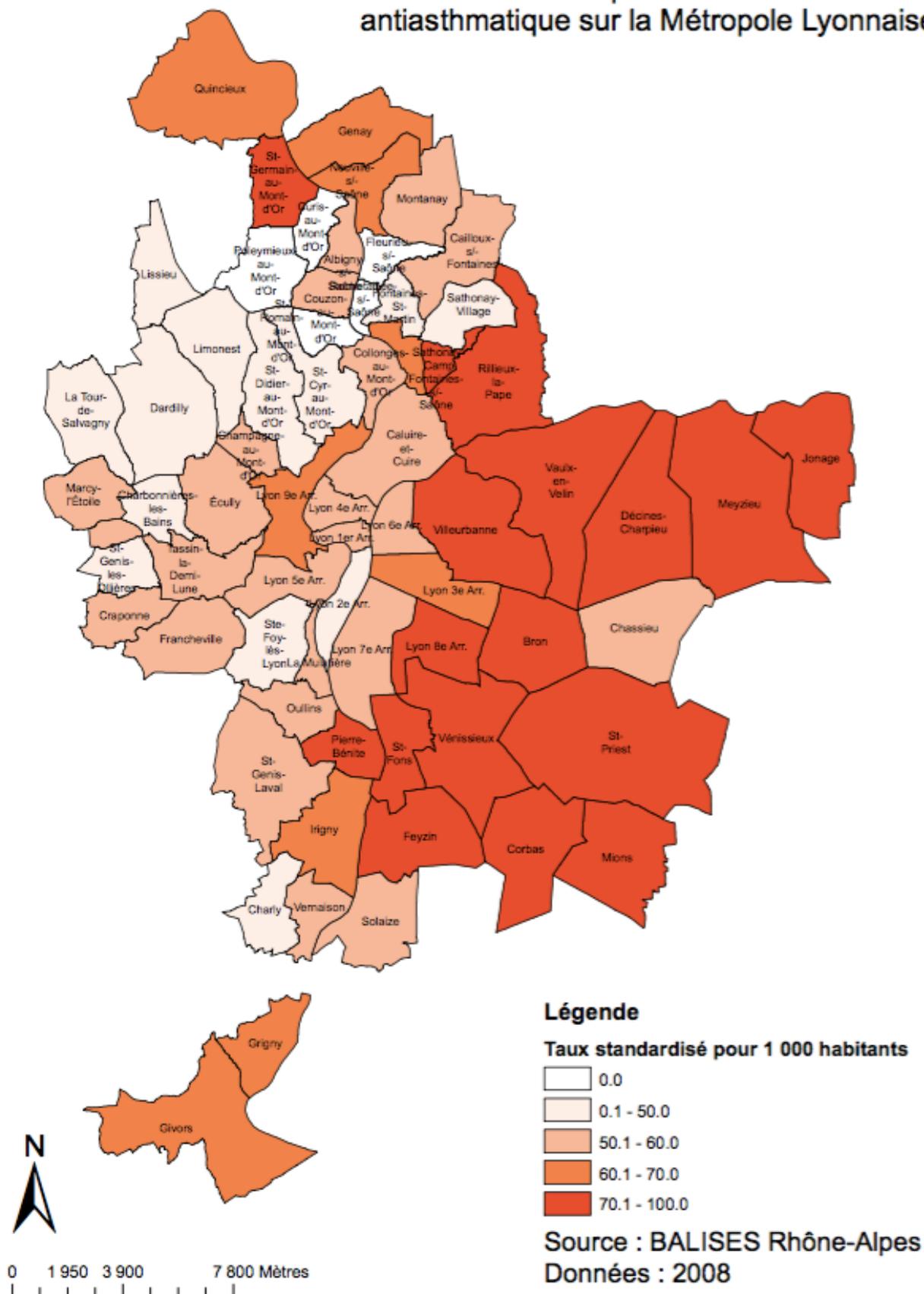


Figure 23 - carte représentant le taux standardisé de patients sous traitement anti-asthmatique sur la Métropole Lyonnaise
Source personnelle

3.3 Discussions des résultats obtenus

Tout d'abord, nous pouvons dire que le résultat obtenu pour la typologie de territoire n'est pas surprenant. En effet, en superposant la typologie des territoires avec une carte qui représente les grandes infrastructures de transports, nous voyons facilement que les communes les plus densément peuplées et les plus proches des grandes infrastructures sont les plus exposées aux nuisances environnementales.

L'étude réalisée ici à utiliser des Analyses en Composantes Principales, comme l'a déjà effectué l'ARS PACA lorsqu'elle a étudié²¹ les inégalités environnementales en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les analyses en composantes principales permettent de trier directement les territoires selon la gravité ou l'ampleur d'un phénomène étudié.

Concernant les analyses effectuées, comme précisé dans la description des données, nous avons décidé de placer toutes les personnes sensibles dans une même variable populations sensibles, regroupant les personnes âgées de moins de 5 ans et celles âgées de plus de 65 ans. Cependant, en terme d'impact sanitaire, les problématiques ne sont pas équivalentes. Les personnes âgées de moins de 5 ans et les personnes de plus de 65 ans ne réagissent pas de la même manière aux expositions aux nuisances environnementales. Cependant, ce sont des populations sensibles donc les actions à mettre en oeuvre sur les territoires exposés seront du même ordre que ce soit pour des personnes âgées de moins de 5 ans ou de plus de 65 ans. Pour caractériser davantage les impacts sanitaires sur ces populations ou pour prendre en considération davantage l'âge dans les analyses de données, il serait peut être intéressant de faire des analyses avec différentes catégories de populations. Mais en utilisant des variables sanitaires différentes, puisqu'ici les taux standardisés utilisés ne permettent pas de discriminer les populations en fonction de l'âge.

Concernant les variables, nous avons choisi d'utiliser la densité de populations des communes, données facilement accessibles, pour prendre en considération un paramètre se rattachant à l'urbanisation des communes. Néanmoins, il serait peut-être préférable d'intégrer le paramètre taux d'urbanisation pour réellement caractériser les aménagements des communes.

Notons que les variables ont été analysées ensemble alors qu'elles ne sont pas toutes issues des mêmes repères temporelles ou de la même période de production, effectivement les données d'exposition ont été modélisées sur des populations de 2007, les données sanitaires sont actualisées chaque année ou lissées sur plusieurs années, les données populationnelles proviennent du recensement de 2012. Il se peut alors qu'il y est des décalages qui rendent les analyses quelque peu imprécises. Néanmoins, ici nous

²¹ Les inégalités environnementales de santé des territoires en région PACA - Dossier n°20 - décembre 2014

avons recherché à hiérarchiser les communes les unes par rapport aux autres, il n'y a donc pas de pas de temps qui entre en considération. De plus, sur les communes étudiées, aucun projet d'aménagement d'envergure n'a été mis en place durant la période sur laquelle s'étale les différentes variables qui aurait pu changer radicalement les expositions. En outre, en comparant les données INSEE d'une année sur l'autre, aucune grosse différence de population n'est à recenser sur les communes du territoire. Pour finir, nous n'avons pas relevé d'évolution de l'excès de risque sanitaire durant les différentes années considérées

Enfin, il est bon de noter que les données issues de l'exposition aux particules fines et aux NOx ne peuvent pas être issues d'une seule mesure à une date précise, il est nécessaire de lisser les données en fonction des conditions météorologiques, qui peuvent faire varier considérablement les teneurs en particules et en NOx sur les territoires.

Les analyses effectuées ont été réalisées en ne tenant compte que des expositions aux nuisances sur les lieux d'habitations des populations. Il serait peut-être intéressant de réaliser des analyses statistiques sur des populations en mouvement et intégrer des paramètres de déplacement domicile-travail par exemple. Les populations se déplaçant davantage ne sont pas exposées de la même manière sur leur lieu d'habitation et sur leur lieu de travail. En effectuant ce genre d'études, la hiérarchisation se ferait davantage sur l'individu plus que sur la commune. Il y aurait alors un changement d'échelle à faire., comme l'étude²² réalisée conjointement entre l'INSEE et le CEREMA avec l'enquête ménage et la prise en compte de l'exposition aux nuisances atmosphériques.

En outre, l'étude réalisée ici va contribuer à la mise en place d'une méthodologie d'analyse de données environnementales, socio-économiques et sanitaires afin d'éclairer l'action publique qui cherche, au travers des PRSE, à réduire les inégalités sociales de santé. Cette méthodologie permettra d'analyser la contribution éventuelle de certaines nuisances environnementales sur les inégalités sociales de santé. L'étude Equit'Area²³ a le même type d'objectif à savoir « explorer la contribution de certaines pollutions et nuisances environnementales aux importantes inégalités sociales de santé qui existent en France ».

Les résultats de cette étude peuvent être exploitées afin de mettre en place une hiérarchisation des communes sur l'ensemble de la région Auvergne Rhône-Alpes, en affinant les données utilisées. La méthodologie peut être facilement reproductible sur un territoire plus étendu. Néanmoins, avant d'étendre cette méthodologie, il serait intéressant de confronter les résultats obtenus avec les réalités du terrain, en faisant intervenir les acteurs locaux des communes.

²² Prendre en compte la mobilité des Lyonnais pour mieux évaluer leur exposition à la pollution atmosphérique - S. Maury, A. Gilbert ; A-L. Badin, X. Olny

²³ www.equitarea.org - Expositions environnementales et inégalités sociales de santé - EHESP

Conclusion

Les nuisances environnementales sont omniprésentes sur les territoires et les populations y sont sans cesse exposées. Il est difficile d'établir des corrélations entre ces nuisances et l'état sanitaire des populations, cependant, la littérature nous prouve de plus en plus, que les nuisances sonores et atmosphériques ont de réels impacts sanitaires qu'il est important à considérer.

L'étude effectuée ici à tenter de réaliser une méthodologie permettant de hiérarchiser des territoires les uns par rapport aux autres à travers un ensemble de paramètres environnementaux, sociétaux, démographiques et sanitaires. Nous avons pu réaliser que certains paramètres ne sont pas discriminants pour le classement des communes par rapport aux autres, alors que certaines variables y sont indispensables. La confrontation des typologies de territoire obtenues avec les données sanitaires ne permet pas d'affirmer de corrélations entre les expositions aux nuisances environnementales et une prévalence d'événements sanitaires, néanmoins il est à noter que pour la pathologie asthmes, les populations les plus touchées sont les populations les plus exposées.

La méthodologie de hiérarchisation des communes effectuées dans cette étude peut être reproduite sur des territoires plus importants où les données sont d'autres et déjà disponibles. Et il serait intéressant de confronter les résultats obtenus aux réalités visibles sur le terrain.

Enfin notons, qu'il serait intéressant d'intégrer davantage les études d'impacts sanitaires dans les études d'impacts réalisées en amont des projets d'aménagement puisque l'environnement dans lequel vit les populations peut fortement impactées leur santé.

Ouverture

Pour réaliser des analyses plus précises et orienter davantage les actions publiques mises en place pour diminuer les expositions aux nuisances, il serait intéressant de réaliser cette étude à une échelle différente, pourquoi pas considérer les territoires de santé. Ainsi, il serait davantage aisé de confronter les typologies de territoire obtenues à l'aide des données environnementales aux données sanitaires.

De plus, pour justifier des éventuelles corrélations entre les données environnementales et sanitaires, des études épidémiologiques pourraient être mises en place avec l'utilisation d'analyses statistiques via une loi de poisson, par exemple.

Bibliographie

Articles, dossiers, rapports

Agir pour un urbanisme favorable à la santé, concepts & outils - Guide EHESP/DGS, ROUÉ-LE GALL Anne, LE GALL Judith, POTELON Jean-Luc et CUZIN Ysaline, 2014

Air extérieure et santé - ORS Rhône-Alpes, octobre 2014

Analyse en Composantes Principales - Kouani, Ali et al., Revue Africaine de Didactique des Sciences et des Mathématiques, n°2, mars 2007. 18 pages

Associations of short-term exposure to traffic-related air pollution with cardiovascular and respiratory hospital admissions in London - Samoli, E., Atkinson R. W., Analitis, A., et al., UK. Occupational and environmental medicine, 2016, p. oemed-2015-103136.

Bruit et Santé, ORS Rhône-Alpes, 2014

Bruit & santé, ANSES, 2013

Burden of disease from environmental noise Quantification of healthy life years lost in Europe - World Health Organization (2011)

Economic cost of the health impact of air pollution in Europe : Clean air, health and wealth - Bureau régional de l’OMS pour l’Europe, OCDE, avril 2015

Estimation des coûts pour le système de soins français de cinq maladies respiratoires et des hospitalisations attribuables à la pollution de l’air - Christophe Rafenberg, CGDD, Études et documents, avril 2015

Étude d’impact sur les coûts que représentent pour l’assurance maladie certaines pathologies liées à la pollution – Illustration avec l’asthme et le cancer - Groupe d’étude de l’Afsset, octobre 2007

Exposition prolongée à la pollution atmosphérique et mortalité par pathologies respiratoires - Eilstein D., 2009, Revue des Maladies Respiratoires, Volume 26, Issue 10, pp 1146–1158

Impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans neuf villes françaises - INVS, septembre 2012

Incidences des émissions d’oxyde d’azote en vallée d’Aspe et de Bariatou (Pyrénées) - Deletraz Gaëlle., thèse de Doctorat, soutenue le 13 décembre 2002. 564 pages

Le coût économique et financier de la pollution de l’air - Rapport Sénat n°160 du 8 juillet 2015

Le coût social des pollutions sonores - Analyse bibliographique des travaux français et européens – mai 2016

L’évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental – avis de l’ANSES, février 2013

Les inégalités environnementales de santé des territoires en région PACA - Dossier n°20 - décembre 2014

Lignes directrices relatives à l’air : particules, ozone, dioxyde d’azote et dioxyde de soufre, OMS, mise à jour mondiale 2005

Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise - T. Hellmuth, T. Classen, R.Kim, S. Kephelopoulos, WHO Regional Office for Europe (2012)

Noise in Europe - European Environment Agency, 2014

Note de synthèse sur l'application à l'agglomération parisienne de la méthode de l'OMS pour la détermination de la morbidité liée au bruit - Bruitparif

Prendre en compte la mobilité des Lyonnais pour mieux évaluer leur exposition à la pollution atmosphérique - S. Maury, A. Gilbert ; A-L. Badin, X. Olny

Probabilités, statistiques et analyses multicritères - Rouaud Mathieu, juin 2012. 184 pages

Quantification of healthy life years lost in Europe - Burden of disease from environmental noise - WHO 2011

Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011. Des clefs pour mieux comprendre les impacts de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Europe Pascal M., Medina S., InVS, 2002

Santé et qualité de l'air, aide mémoire n°313 - OMS - septembre 2011

The effects of outdoor air pollution on the respiratory health of Canadian children : A systematic review of epidemiological studies - Rodriguez-Villamizar Laura A., Magico, A., Osornio-Vargas A., et al.. Canadian Respiratory Journal, 2015, vol. 22, no 5, p. 282-292

Sites internet

<http://www.bruit.fr/boite-a-outils-des-acteurs-du-bruit/recueil-des-textes-officiels/loi-cadre-sur-le-bruit/>

www.ineris.fr/aida/consultation_document/973

social-sante.gouv.fr - le plan national santé environnement (PNSE3)

http://www.airqualitynow.eu/fr/pollution_health_effects.php

factominer.free.fr/classical-methods/classification-hierarchique-sur-composantes-principales

<http://www.prse2-rhonealpes.fr/Presentation/Synthese-des-fiches>

www.equitarea.org - Expositions environnementales et inégalités sociales de santé - EHESP - IRSET

<http://www.bruit.fr/boite-a-outils-des-acteurs-du-bruit/bruit-et-sante/>

http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/

Liste des annexes

Annexe 1 : les actions du PNSE3 en lien avec les nuisances atmosphériques et sonores

Action n°42 : cartographier la qualité de l'air des zones sensibles

Cartographier à fine échelle spatiale des zones sensibles à la qualité de l'air pour certains polluants spécifiques sous forme de Cartes Stratégiques Air (CSA). Ces cartes pourront apporter aux collectivités qui le souhaitent des éléments d'aide à la décision notamment en matière d'urbanisme et d'aménagement du territoire.

Pilote : DGEC

Partenaires : AASQA, INERIS/LCSQA, ATMO France

Indicateur de suivi de l'action : nombre de CSA réalisées

Action n°50 : élaborer un nouveau programme de réduction des émissions de polluants atmosphériques nocifs pour la santé et ayant un impact sur le climat

En application de la future directive « NEC révisée » (National Emissions Ceilings) et de ses plafonds d'émissions, et concernant l'obligation réglementaire de réviser l'arrêté ministériel du 8 juillet 2003 portant approbation du programme national de réduction des émissions de polluants atmosphériques gazeux (SO₂, NO_x, COV, NH₃, CH₄) et particulaires (PM 2,5) dans l'air ambiant, il est nécessaire d'élaborer un nouveau plan de réduction des émissions (PREPA). Ce plan est inscrit dans le projet de loi de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte.

Le PREPA prendra également en compte les objectifs relatifs à la qualité de l'air définis au travers de la directive « qualité de l'air », en particulier vis-à-vis des concentrations dans l'air ambiant et des plans d'actions (Plans de Protection de l'Atmosphère - PPA). Le PREPA constituera la stratégie du gouvernement pour réduire les émissions de polluants atmosphériques et protéger la santé des populations en réduisant les concentrations dans l'air ambiant. Il combinera des actions hiérarchisées et évaluées techniquement, économiquement et socialement, qui viseront tous les polluants et secteurs d'activité. Il s'appuiera sur d'autres outils (par exemple : PPA, Schéma Régional du Climat de l'Air et de l'Energie (SRCAE), communication, etc.). A ce titre, il est prévu :

- **De renforcer les actions dans le secteur des transports**, notamment en donnant la possibilité aux collectivités de mettre en place des mesures de restriction de circulation des véhicules les plus polluants sur certaines zones de leur territoire, par la mise en œuvre de primes à la conversion des vieux véhicules diesel dans les zones PPA.
- **De mettre en œuvre des actions pour réduire les émissions liées aux installations de chauffage domestique au bois** peu performantes et/ou obsolètes ainsi que celles liées aux activités agricoles.

Sur changement climatique et particules, il faut souligner que plusieurs rapports mentionnent que le carbone suie est un agent important de forçage climatique et que les émissions de particules (PM) des véhicules diesel contiennent une fraction plus importante de carbone suie que les autres sources d'émission de PM.

Pilote : DGEC

Partenaires : directions interministérielles et acteurs de la qualité de l'air

Indicateur de réalisation de l'action : parution du PREPA fin 2015

Action n°52 : améliorer les connaissances liées à la qualité de l'air à différentes échelles et mieux caractériser les sources

Il convient d'améliorer les connaissances sur la qualité de l'air tant à différentes échelles spatio-temporelles (approches géo-climatologiques, météorologiques, modélisation) ainsi que celles relatives à la caractérisation chimique des particules.

Le programme de recherche **Primequal sera notamment mobilisé ainsi que d'autres actions comme le programme CARA** dont le but est de déterminer la contribution des sources et d'évaluer la toxicité des particules mesurées, au travers de la caractérisation des sources de pollution aux particules sur la base de leur caractérisation chimique des espèces majeures en temps réel (sur la fraction fine des PM (nitrate et sulfate d'ammonium, matière organique et carbone suie). Des financements par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) seront recherchés.

Pilote : DGEC

Partenaires : INERIS/LCSQA, laboratoires inter-universitaires, ANR, CGDD-DRI (programme Primequal), ATMO France, réseau des AASQA

Indicateur de réalisation de l'action : exploitation des données : rapport annuel relatif à la caractérisation chimique des PM (coordonné par l'INERIS/LCSQA), projets soutenus par l'ANR

Action n°62 : mieux lutter contre les nuisances sonores générées par les deux-roues motorisés

Dans la hiérarchie des bruits gênants, **les nuisances sonores générées par les deux-roues à moteur sont le premier motif de plainte auprès des maires** et constituent un phénomène portant atteinte à la tranquillité d'un nombre élevé de personnes. Bien qu'ils résultent le plus souvent d'un comportement inadapté (sur régime moteur, défaut de pot d'échappement, pot détérioré ou ayant fait l'objet de manipulations), **les bruits des deux-roues motorisés ne sont à proprement parler ni de véritables bruits de voisinage (leur répression relève du code de la route), ni des bruits de circulation typiques.** Pour cette raison, ils ne sont pas traités par les dispositifs réglementaires propres aux bruits de voisinage. De même, le traitement classique des nuisances sonores générées ou induites par les infrastructures de transports terrestres ne répond pas à cette problématique.

Au-delà des actions régaliennes, des informations pédagogiques à destination des concepteurs de matériels pourraient être envisagées.

Pilotes : DGPR, ministère de l'Intérieur

Partenaire : CNB

Indicateur de suivi de l'action : nombre de campagnes de contrôles des deux-roues motorisés menées par le ministère de l'Intérieur

Action n°63 : résorber les points noirs du bruit

La notion de **point noir du bruit** (PNB) a été progressivement introduite et leur résorption érigée comme objectif majeur de la lutte contre les nuisances sonores.

Le rapport du Comop « bruit » n°18 du Grenelle de l'Environnement définit les points noirs du bruit comme des **bâtiments d'habitation, de soins, de santé, d'enseignement ou d'action sociale répondant à des critères liés à l'exposition sonore en façade du bâtiment et à la date d'obtention du permis de construire de ce bâtiment (critère d'antériorité)**. Les seuils d'exposition sonore sont fixés réglementairement. Selon le dépassement de ces valeurs seuils, le bâtiment peut-être qualifié de PNB ou de super PNB.

La problématique principale liée à la résorption des PNB réside dans le dégagement de ressources pérennes pouvant alimenter ces actions et pouvant bénéficier à l'ensemble des gestionnaires.

Pilote : DGPR

Partenaires : CNB, DGITM, DGAC, DGE

Indicateur de suivi de l'action : nombre de PNB résorbés

Action n°102 : pour la construction des établissements d'accueil du jeune enfant, procéder à l'évaluation des outils d'accompagnement en matière de performance acoustique et proposer, le cas échéant, des recommandations acoustiques permettant leur actualisation

Pilotes : DGCS, DGS

Partenaires : DGPR, DHUP, CNB

Indicateur de réalisation de l'action : actualisation des recommandations

Action n°103 : développer une communication tenant compte des bonnes pratiques afin de mieux protéger la population des risques auditifs liés notamment à l'écoute de musique amplifiée

Pilotes : DGS, INPES (niveau national), ARS (niveau régional)

Partenaires : DGESCO, DGSIP, associations, mutuelles, ministère de la Culture

Indicateurs de réalisation de l'action : nombre de campagnes de communication réalisées ; nombre de PRSE 3 reprenant l'action

Annexe 2 : La Métropole Lyonnaise : le territoire d'étude



Annexe 3 : script principal utilisé lors de l'analyse de données avec le logiciel Rstudio

```
#chargement du package utilisé
```

```
library(FactoMineR)
```

```
#chargement des données utilisées
```

```
read.csv2(« donees_max.csv », header = T, row.names = 1)
```

```
max<-read.csv2(« donees_max.csv », header = T, row.names = 1)
```

```
#analyse en composantes principales et classification ascendante hiérarchique
```

```
maxpca<-PCA(max)
```

```
maxhcpc<-HCPC(maxpca)
```

```
#affichage des classes dans le tableau d'origine
```

```
maxhcpc$data.clust
```

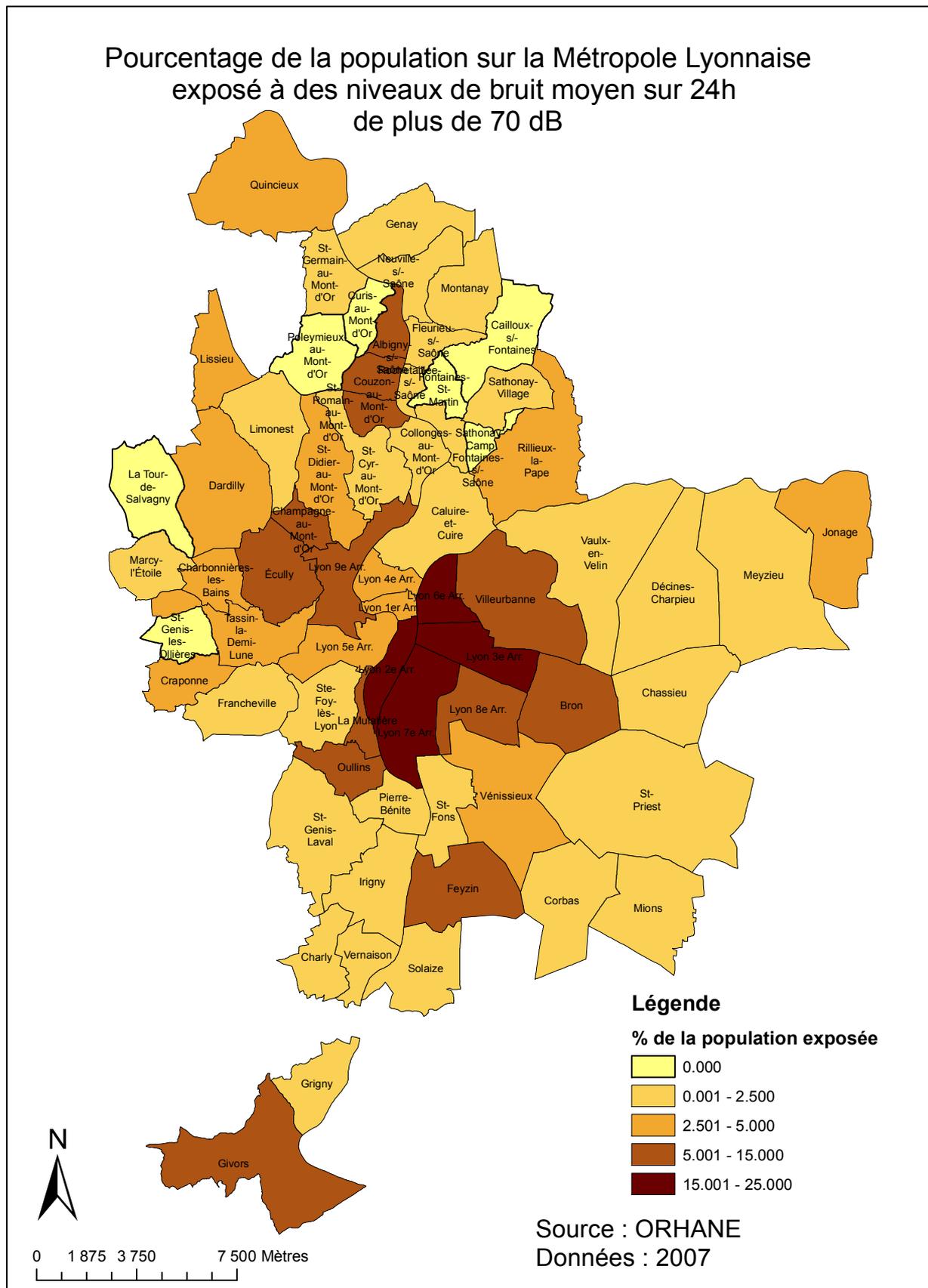
```
#affichage des caractéristiques de l'ACP
```

```
cor(maxpca)
```

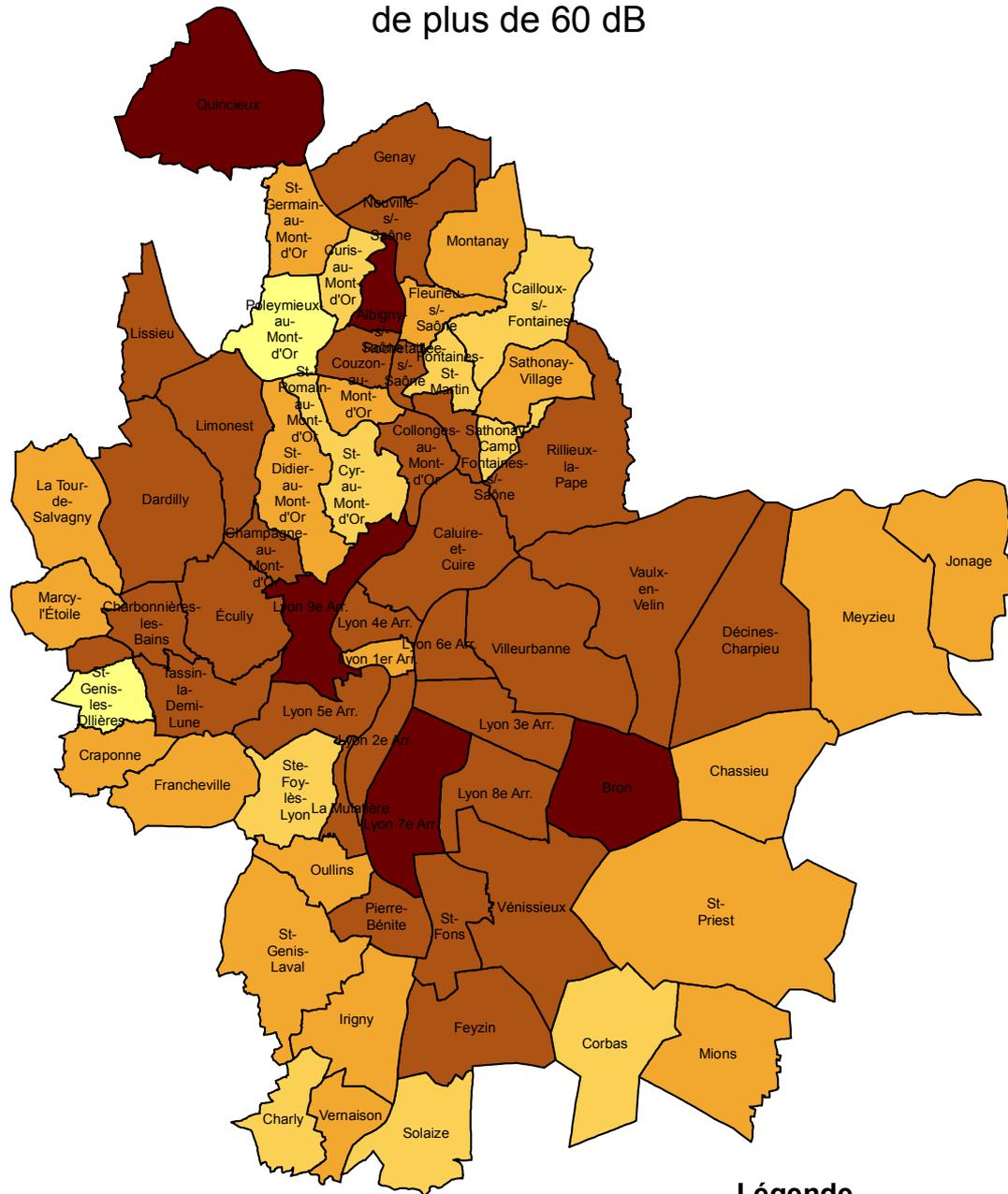
```
#affichage des corrélations entre les variables et les classes
```

```
maxhcpc$desc.var
```

Annexe 4 : représentations cartographiques des nuisances environnementales sur la Métropole Lyonnaise exploitées



Pourcentage de la population sur la Métropole Lyonnaise
exposé à un niveau moyen de bruit annuel sur 24h
de plus de 60 dB



Légende

% de la population exposée

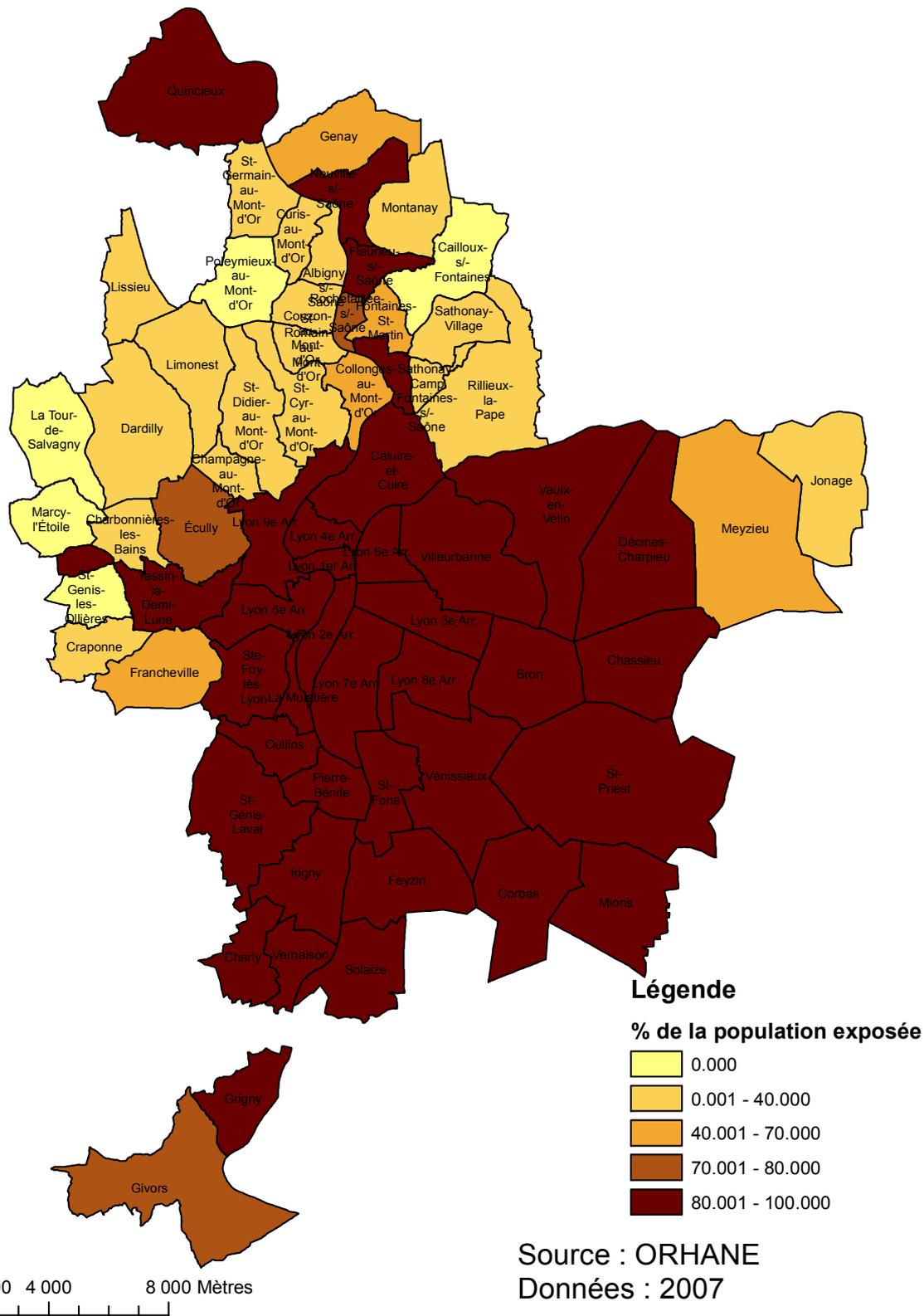
Light Yellow	0.000
Light Orange	0.001 - 10.000
Orange	10.001 - 25.000
Dark Orange	25.001 - 50.000
Dark Red	50.001 - 100.000



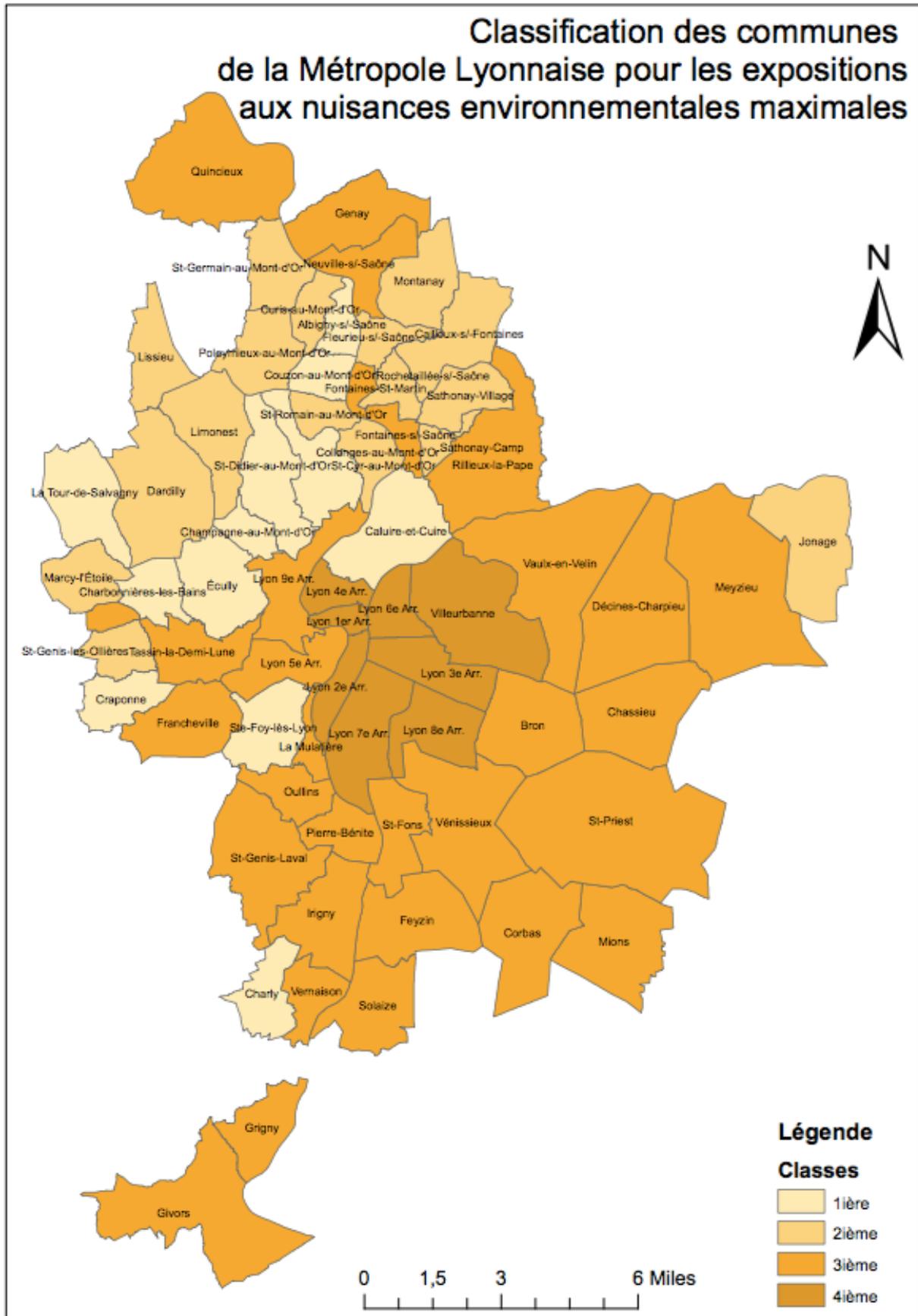
0 1 875 3 750 7 500 Mètres

Source : ORHANE
Données : 2007

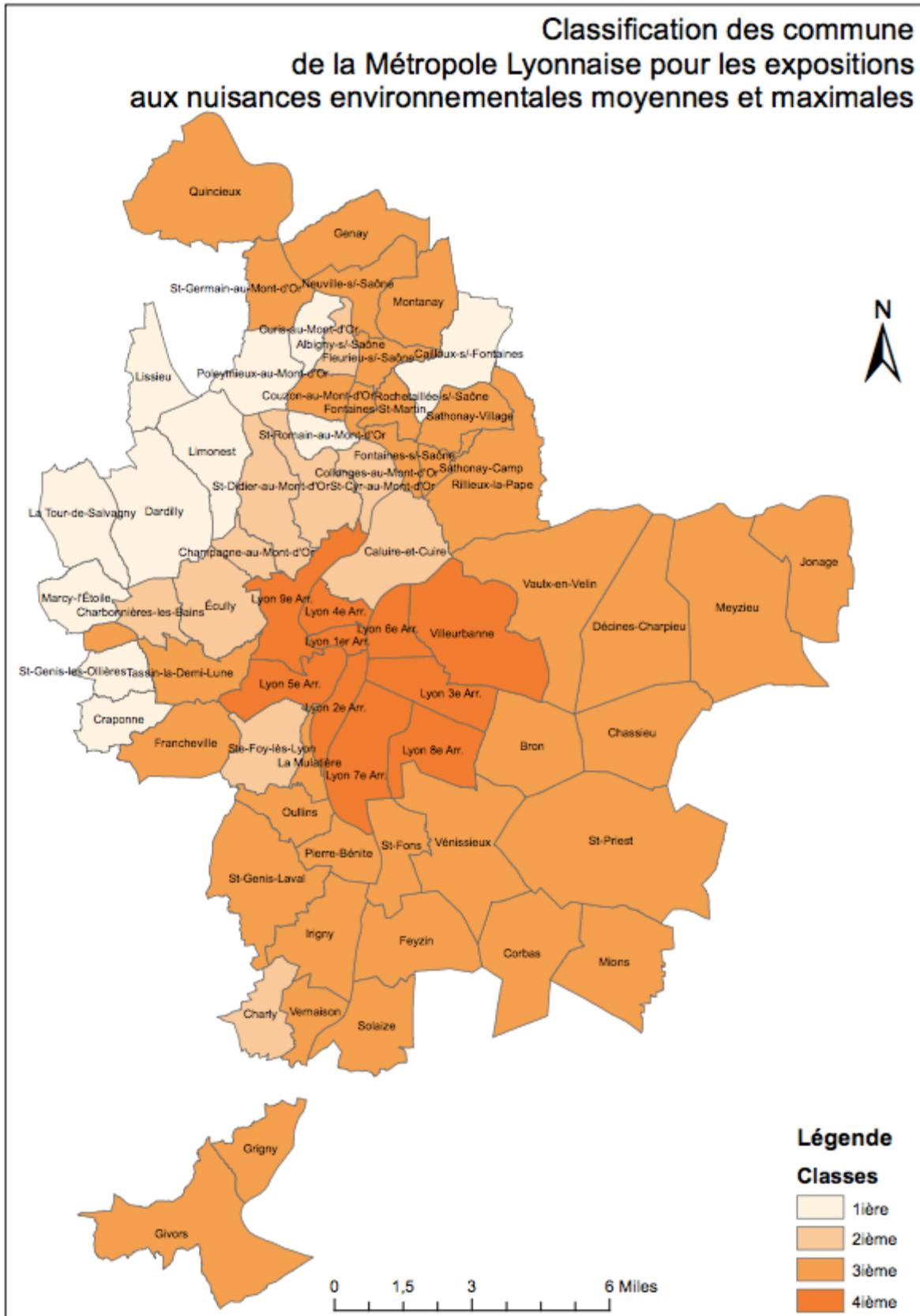
Pourcentage de la population sur la Métropole Lyonnaise exposée à une pollution atmosphérique moyenne en NO₂ de plus de 40 µm/m² et de 35 jours annuel de dépassement du seuil pour les PM₁₀



Annexe 5 : typologie des territoires obtenus en utilisant seulement les données d'expositions maximales aux nuisances environnementales

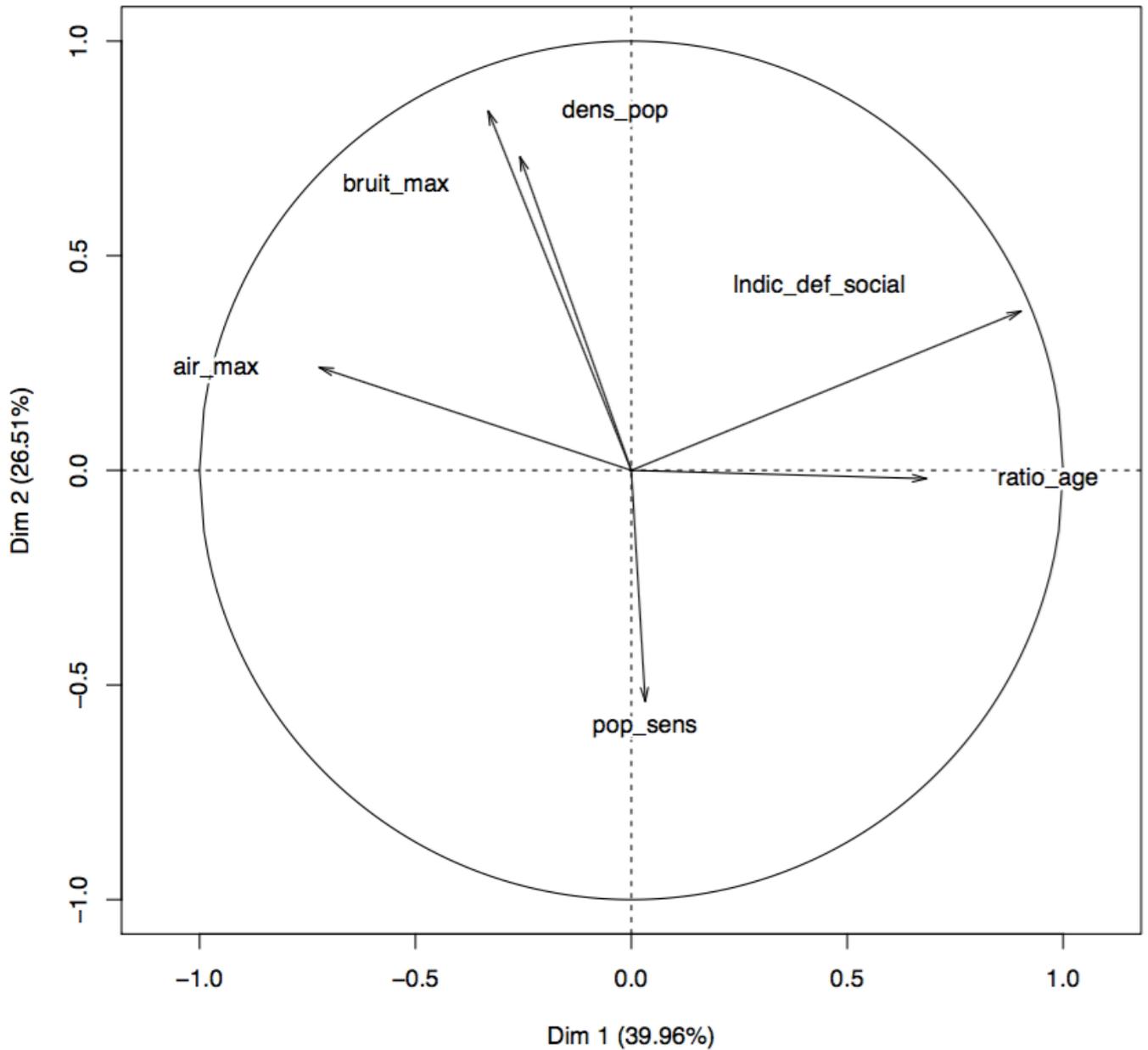


Annexe 6 : typologie des territoires obtenus en utilisant les données d'expositions moyennes et maximales aux nuisances environnementales

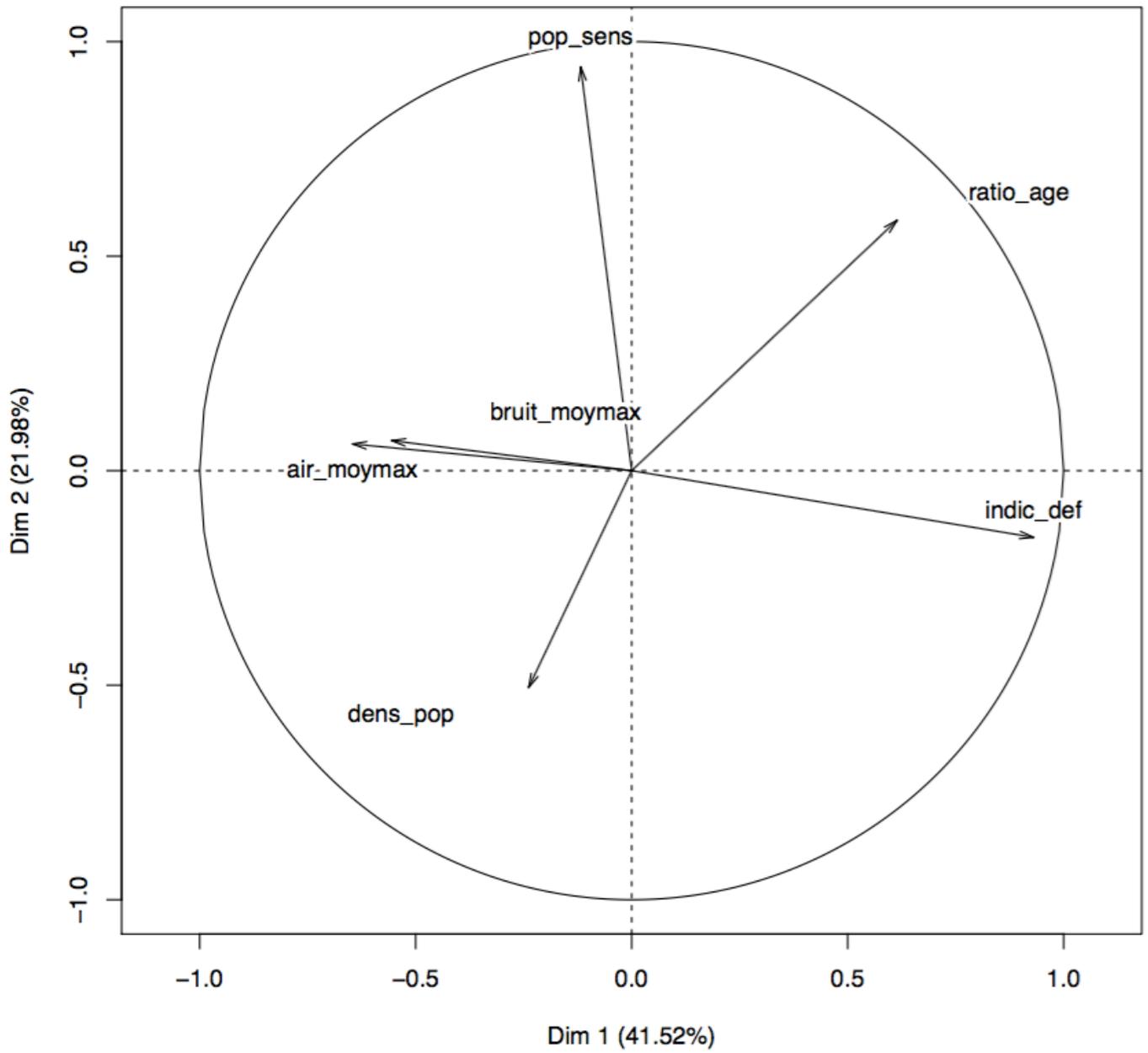


Annexe 7 : résultats de l'analyse des données avec une pondération pour l'indice de défaveur social

Avec les variables d'exposition maximales



Avec les variables d'exposition moyennes et maximales



Abstract

Contribution of the environmental health diagnosis of the operation by the region Auvergne Rhône-Alpes upstream of the development of PRSE3

Focus on the issues sensitive populations and noise and air pollution

Air pollution and noise pollution have a negative impact on all of society, but some groups are more affected than others. Lower socioeconomic status is generally associated with poorer health, and both air and noise pollution contribute to a wide range of other factors influencing human health.

This report try to create a methodology to try to understand the link between noise and air pollution, socioeconomic status and population health.

With statistical analysis (Principal Component Analysis and Ascending Hierarchical Classification), the methodology can be produced in the study area (Métropole Lyonnaise) and extended to Auvergne Rhône-Alpes region. This methodology can inform future actions in PRSE3.

PHILIPPOT	Marine	Novembre 2016
<p align="center">Mastère Spécialisé Ingénierie et Management des Risques en Santé Environnement Travail</p> <p align="center">2015 - 2016</p>		
<p>Contribution à l'exploitation du diagnostic Santé-Environnement réalisé par la Région Auvergne – Rhône-Alpes en amont de l'élaboration du PRSE3 Zoom sur les problématiques Bruit-Qualité de l'air extérieur et populations sensibles</p>		
<p>Résumé :</p> <p>Dans un contexte d'élaboration de diagnostic territorial en amont du PRSE3 Auvergne Rhône-Alpes, des éléments méthodologiques permettant d'analyser un ensemble de données environnementales, socio-économiques et sanitaires sont à prendre en considération afin de produire un ensemble de mesures adaptées au territoire. L'objectif de cette étude était de fournir les prémices de ces éléments méthodologiques.</p> <p>Des données d'expositions des populations aux nuisances sonores et atmosphériques, ainsi que des données socio-économiques et sanitaires ont donc été choisies et rassemblées sur le territoire d'étude de la Métropole Lyonnaise afin d'être analysées statistiquement.</p> <p>Pour se faire, des analyses en composantes principales puis des classifications ascendantes hiérarchiques ont été réalisées en utilisant les données environnementales et socio-économiques afin de dessiner des typologies de territoire. Des cartographies d'enjeux sanitaires ont aussi été produites. La concertation des résultats de ces analyses environnementales et sanitaires permet de faire ressortir des territoires à enjeux forts où une certaine corrélation entre les expositions environnementales et les enjeux sanitaires est peut-être à analyser et approfondir.</p> <p>La méthodologie utilisée dans cette étude sera utilisée, améliorée et étendue à l'ensemble de la région Auvergne Rhône-Alpes afin de guider les actions du PRSE3.</p>		
<p>Mots clés :</p> <p>Nuisances environnementales ; nuisances sonores ; nuisances atmosphériques ; expositions ; impacts sanitaires ; Plan Régional Santé Environnement ; Analyses en Composantes Principales ; Classifications Ascendantes Hiérarchiques</p>		
<p align="center"><i>L'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.</i></p>		