



HAL
open science

Pollution atmosphérique dans la vallée de l'Arve et admissions aux urgences de l'hôpital de Sallanches : méthodologie d'une analyse de séries temporelles

Julie Paget

► To cite this version:

Julie Paget. Pollution atmosphérique dans la vallée de l'Arve et admissions aux urgences de l'hôpital de Sallanches : méthodologie d'une analyse de séries temporelles. Médecine humaine et pathologie. 2016. dumas-01499656

HAL Id: dumas-01499656

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01499656v1>

Submitted on 31 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SID de Grenoble : **thesebum@ujf-grenoble.fr**

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

<http://www.cfcopies.com/juridique/droit-auteur>

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Année : 2016

N°

**POLLUTION ATMOSPHERIQUE DANS LA VALLEE DE L'ARVE ET
ADMISSIONS AUX URGENCES DE L'HOPITAL DE SALLANCHES:
METHODOLOGIE D'UNE ANALYSE DE SERIES TEMPORELLES**

THESE
PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE
DIPLOME D'ETAT

PAGET Julie

[Données à caractère personnel]

THESE SOUTENUE PUBLIQUEMENT A LA FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE

Le : 5 septembre 2016

DEVANT LE JURY COMPOSE DE

Président du jury : Monsieur le Professeur Jean-Luc BOSSON

Membres du jury : Monsieur le Professeur Vincent BONNETERRE

Monsieur le Professeur Pierre BOUZAT

Monsieur Rémy SLAMA

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Frédéric CHAMPLY

**La Faculté de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.*

**ENSEIGNANTS A L'UFR DE
MEDECINE**

CORP	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU- PU-	ALBALADEJO Pierre	Anesthésiologie réanimation
PU- PU-	APEL Florent	Ophtalmologie
PU- PU-	ARVIEUX-BARTHELEMY Catherine	Chirurgie générale
PU- PU-	BALOSSO Jacques	Radiothérapie
PU- PU-	BARONE-ROCHETTE Gilles	Cardiologie
PU- PU-	BARRET Luc	Médecine légale et droit de la santé
PU- PU-	BENHAMOU Pierre Yves	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU- PU-	BERGER François	Biologie cellulaire
MCU- PU-	BIDART-COUTTON Marie	Biologie cellulaire
MCU- PU-	BOISSET Sandrine	Agents infectieux
PU- PU-	BONAZ Bruno	Gastro-entérologie, hépatologie, addictologie
PU- PU-	BONNETERRE Vincent	Médecine et santé au travail
PU- PU-	BOSSON Jean-Luc	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de
MCU- PU-	BOTTARI Serge	Biologie cellulaire
PU- PU-	BOUGEROL Thierry	Psychiatrie d'adultes
PU- PU-	BOUILLET Laurence	Médecine interne
MCU- PU-	BOUZAT Pierre	Réanimation
PU- PU-	BRAMBILLA Christian	Pneumologie
PU- PU-	BRAMBILLA Elisabeth	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU- PU-	BRENIER-PINCHART Marie Pierre	Parasitologie et mycologie
PU- PU-	BRICAULT Ivan	Radiologie et imagerie médicale
PU- PU-	BRICHON Pierre-Yves	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
MCU- PU-	BRIOT Raphaël	Thérapeutique, médecine d'urgence
PU- PU-	CAHN Jean-Yves	Hématologie
MCU- PU-	CALLANAN-WILSON Mary	Hématologie, transfusion
PU- PU-	CARPENTIER Françoise	Thérapeutique, médecine d'urgence
PU- PU-	CARPENTIER Patrick	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
PU- PU-	CESBRON Jean-Yves	Immunologie
PU- PU-	CHABARDES Stephan	Neurochirurgie
PU- PU-	CHABRE Olivier	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU- PU-	CHAFFANJON Philippe	Anatomie

CORP	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU- PU- PU-	CHARLES Julie	Dermatologie
PU- PU- PU-	CHAVANON Olivier	Chirurgie thoracique et cardio- vasculaire
PU- PU- PU-	CHIQUET Christophe	Ophtalmologie
PU- PU- PU-	CINQUIN Philippe	Biostatiques, informatique médicale et technologies de
PU- PU- PU-	COHEN Olivier	Biostatiques, informatique médicale et technologies de
PU- PU- PU-	COUTURIER Pascal	Gériatrie et biologie du vieillissement
PU- PU- PU-	CRACOWSKI Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
PU- PU- PU-	CURE Hervé	Oncologie
PU- PU- PU-	DEBILLON Thierry	Pédiatrie
PU- PU- PU-	DECAENS Thomas	Gastro-entérologie, Hépatologie
PU- PU- PU-	DEMATTEIS Maurice	Addictologie
MCU- PU- PU-	DERANSART Colin	Physiologie
PU- PU- PU-	DESCOTES Jean-Luc	Urologie
MCU- PU- PU-	DETANTE Olivier	Neurologie
MCU- PU- PU-	DIETERICH Klaus	Génétique et procréation
MCU- PU- PU-	DOUTRELEAU Stéphane	Physiologie
MCU- PU- PU-	DUMESTRE-PERARD Chantal	Immunologie
PU- PU- PU-	EPAULARD Olivier	Maladies Infectieuses et Tropicales
PU- PU- PU-	ESTEVE François	Biophysique et médecine nucléaire
MCU- PU- PU-	EYSSERIC Hélène	Médecine légale et droit de la santé
PU- PU- PU-	FAGRET Daniel	Biophysique et médecine nucléaire
PU- PU- PU-	FAUCHERON Jean-Luc	Chirurgie générale
MCU- PU- PU-	FAURE Julien	Biochimie et biologie moléculaire
PU- PU- PU-	FERRETTI Gilbert	Radiologie et imagerie médicale
PU- PU- PU-	FEUERSTEIN Claude	Physiologie
PU- PU- PU-	FONTAINE Éric	Nutrition
PU- PU- PU-	FRANCOIS Patrice	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU- PU- PU-	GARBAN Frédéric	Hématologie, transfusion
PU- PU- PU-	GAUDIN Philippe	Rhumatologie
PU- PU- PU-	GAVAZZI Gaétan	Gériatrie et biologie du vieillissement
PU- PU- PU-	GAY Emmanuel	Neurochirurgie
MCU- PU- PU-	GILLOIS Pierre	Biostatiques, informatique médicale et technologies de
MCU- PU- PU-	GRAND Sylvie	Radiologie et imagerie médicale
PU- PU- PU-	GRIFFET Jacques	Chirurgie infantile
PU- PU- PU-	GUEBRE-EGZIABHER Fitsum	Néphrologie
MCU- PU- PU-	GUZUN Rita	Endocrinologie, diabétologie, nutrition, éducation
PU- PU- PU-	HAINAUT Pierre	Biochimie, biologie moléculaire
PU- PU- PU-	HENNEBICQ Sylviane	Génétique et procréation
PU- PU- PU-	HOFFMANN Pascale	Gynécologie obstétrique
PU- PU- PU-	HOMMEL Marc	Neurologie
PU- PU- PU-	IMBERT Patrick	Médecine générale
PU- PU- PU-	JOUK Pierre-Simon	Génétique
PU- PU- PU-	JUVIN Robert	Rhumatologie

CORP	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU- PU- PU-	KAHANE Philippe	Physiologie
PU- PU- PU-	KRACK Paul	Neurologie
PU- PU- PU-	KRAINIK Alexandre	Radiologie et imagerie médicale
PU- PU- PU-	LABARERE José	Epidémiologie ; Eco. de la Santé
PU- PU- PU-	LANTUEJOUL Sylvie	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU- PU- PU-	LAPORTE François	Biochimie et biologie moléculaire
MCU- PU- PU-	LARDY Bernard	Biochimie et biologie moléculaire
MCU- PU- PU-	LARRAT Sylvie	Bactériologie, virologie
PU- PU- PU-	LECCIA Marie-Thérèse	Dermato-vénéréologie
PU- PU- PU-	LEROUX Dominique	Génétique
PU- PU- PU-	LEROY Vincent	Gastro-entérologie, hépatologie, addictologie
PU- PU- PU-	LETOUBLON Christian	Chirurgie générale
PU- PU- PU-	LEVY Patrick	Physiologie
MCU- PU- PU-	LONG Jean-Alexandre	Urologie
PU- PU- PU-	MACHECOURT Jacques	Cardiologie
PU- PU- PU-	MAGNE Jean-Luc	Chirurgie vasculaire
MCU- PU- PU-	MAIGNAN Maxime	Thérapeutique, médecine d'urgence
PU- PU- PU-	MAITRE Anne	Médecine et santé au travail
MCU- PU- PU-	MALLARET Marie-Reine	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU- PU- PU-	MARLU Raphaël	Hématologie, transfusion
MCU- PU- PU-	MAUBON Danièle	Parasitologie et mycologie
PU- PU- PU-	MAURIN Max	Bactériologie - virologie
MCU- PU- PU-	MCLEER Anne	Cytologie et histologie
PU- PU- PU-	MERLOZ Philippe	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU- PU- PU-	MORAND Patrice	Bactériologie - virologie
PU- PU- PU-	MOREAU-GAUDRY Alexandre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de
PU- PU- PU-	MORO Elena	Neurologie
PU- PU- PU-	MORO-SIBILOT Denis	Pneumologie
MCU- PU- PU-	MOUCHET Patrick	Physiologie
PU- PU- PU-	MOUSSEAU Mireille	Cancérologie
PU- PU- PU-	MOUTET François	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brûlogie
MCU- PU- PU-	PACLET Marie-Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
PU- PU- PU-	PALOMBI Olivier	Anatomie
PU- PU- PU-	PARK Sophie	Hémato - transfusion
PU- PU- PU-	PASSAGGIA Jean-Guy	Anatomie
PU- PU- PU-	PAYEN DE LA GARANDERIE Jean-	Anesthésiologie réanimation
MCU- PU- PU-	PAYSANT François	Médecine légale et droit de la santé
MCU- PU- PU-	PELLETIER Laurent	Biologie cellulaire
PU- PU- PU-	PELLOUX Hervé	Parasitologie et mycologie
PU- PU- PU-	PEPIN Jean-Louis	Physiologie
PU- PU- PU-	PERENNOU Dominique	Médecine physique et de réadaptation
PU- PU- PU-	PERNOD Gilles	Médecine vasculaire
PU- PU- PU-	PIOLAT Christian	Chirurgie infantile

CORP	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU- PH	PISON Christophe	Pneumologie
PU- PH	PLANTAZ Dominique	Pédiatrie
PU- PH	POIGNARD Pascal	Virologie
PU- PH	POLACK Benoît	Hématologie
PU- PH	POLOSAN Mircea	Psychiatrie d'adultes
PU- PH	PONS Jean-Claude	Gynécologie obstétrique
PU- PH	RAMBEAUD Jacques	Urologie
MCU- PH	RAY Pierre	Génétique
PU- PH	REYT Émile	Oto-rhino-laryngologie
MCU- PH	RIALLE Vincent	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de
PU- PH	RIGHINI Christian	Oto-rhino-laryngologie
PU- PH	ROMANET J. Paul	Ophthalmologie
MCU- PH	ROUSTIT Matthieu	Pharmacologie fondamentale, pharmaco clinique,
MCU- PH	ROUX-BUISSON Nathalie	Biochimie, toxicologie et pharmacologie
PU- PH	SARAGAGLIA Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologie
MCU- PH	SATRE Véronique	Génétique
PU- PH	SAUDOU Frédéric	Biologie Cellulaire
PU- PH	SCHMERBER Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
PU- PH	SCHWEBEL-CANALI Carole	Réanimation médicale
PU- PH	SCOLAN Virginie	Médecine légale et droit de la santé
MCU- PH	SEIGNEURIN Arnaud	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU- PH	STAHL Jean-Paul	Maladies infectieuses, maladies tropicales
PU- PH	STANKE Françoise	Pharmacologie fondamentale
MCU- PH	STASIA Marie-José	Biochimie et biologie moléculaire
PU- PH	TAMISIER Renaud	Physiologie
PU- PH	TERZI Nicolas	Réanimation
PU- PH	TONETTI Jérôme	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU- PH	TOUSSAINT Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
PU- PH	VANZETTO Gérald	Cardiologie
PU- PH	VUILLEZ Jean-Philippe	Biophysique et médecine nucléaire
PU- PH	WEIL Georges	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU- PH	ZAOUI Philippe	Néphrologie
PU- PH	ZARSKI Jean-Pierre	Gastro-entérologie, hépatologie, addictologie

PU-PH : Professeur des Universités et Praticiens Hospitaliers

MCU-PH : Maître de Conférences des Universités et Praticiens Hospitaliers

Contributeurs

Rémy SLAMA a permis de mettre en place la méthodologie par analyse de séries temporelles et a réalisé l'analyse statistique.

Emilie PHILIPPE a réalisé l'analyse statistique au sein de l'Inserm de GRENOBLE.

Frédéric CHAMPLY a supervisé l'étude et a permis une coordination entre les différents intervenants.

Adeline HENNICHE a réalisé l'extraction des données médicales à partir du logiciel DMU des urgences.

L'équipe médicale et paramédicale du service des urgences des HPMB a recueilli toutes les informations médicales auprès des patients.

Les Hôpitaux du pays du Mont-Blanc ont mis à disposition les données épidémiologiques pour la réalisation de l'étude.

Le service STAT d'Air Rhône alpes a fourni les taux horaires de polluant dans les différentes stations de la vallée de l'Arve.

Savoie Mont-Blanc Tourisme a mis à disposition les données touristiques (nuitées quotidiennes marchandes et non marchandes).

Météo France a fourni les données météorologiques nécessaires.

Remerciements

A Monsieur le Professeur Jean Luc BOSSON,

Je vous suis reconnaissante de l'intérêt que vous portez à mon travail et vous remercie de me faire l'honneur de présider ce jury de thèse.

A Messieurs le Professeur Vincent BONNETERRE et le Professeur Pierre BOUZAT,

Je vous suis reconnaissante de l'intérêt que vous portez à mon travail et de me faire l'honneur de siéger dans ce jury de thèse.

A Monsieur Rémy SLAMA,

Je vous remercie pour votre aide précieuse, votre critique et votre patience durant cette année.

A Monsieur le Docteur Frédéric CHAMPLY,

Merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir donné ma chance, sans toi ce travail n'aurait jamais commencé.

A ma famille et mes amis, sans vous la vie n'aurait pas le même charme. Merci pour votre soutien et votre bonne humeur durant ces années, que vous fassiez partie de ma vie le plus longtemps possible !

A tous ceux que j'ai pu croiser durant mes études : médecins, infirmier(e)s ou aides-soignant(e)s, secrétaires, patients ou familles. Merci pour tout ce que vous m'avez apporté, merci d'avoir contribué à faire de moi celle que je suis aujourd'hui.

Table des matières

I. Introduction	13
A. Définitions	14
1. La pollution	14
2. La pollution atmosphérique	14
3. Un polluant	14
B. Historique	15
1. Le brouillard mortel de la Meuse	15
2. Le smog photochimique de Los Angeles.....	16
3. Donora.....	16
4. Le grand smog de Londres.....	17
C. Loi sur l’Air et l’Utilisation Rationnelle de l’Energie (LAURE)	18
II. Pollution atmosphérique	19
A. Généralités	19
B. Les différents polluants.....	20
1. Généralités sur les polluants	20
2. Effet « cocktail » ou « soupe chimique »	20
3. Ozone (O ₃).....	21
4. Oxydes d’azote (NO _x), Dioxyde d’azote (NO ₂), monoxyde d’azote (NO)	22
5. Dioxyde de soufre (SO ₂).....	23
6. Les matières particulaires ou poussières en suspension (PM)	23
7. Les composés organiques volatils (COV)	25
8. Monoxyde de carbone	25
9. Métaux lourds	26
10. L’air pur existe-t-il ?	26
C. Impact de la pollution atmosphérique sur la santé	29
1. Les études expérimentales.....	29
2. Comment la pollution impacte-t-elle sur la santé ? Mécanismes physiopathologiques	30
3. Le projet APHEKOM.....	34
4. Impact respiratoire.....	35
5. Impact cardiovasculaire.....	37
6. Impact neurovasculaire	39
7. Facteurs influençant l’impact de la pollution atmosphérique	40
8. Les séries temporelles.....	43

D.	Problématique de la vallée de l'Arve	49
1.	Topographie	50
2.	Météorologie.....	51
3.	Les sources de polluants.....	53
4.	Variabilité annuelle	56
III.	Objectif.....	60
IV.	Matériels et méthodes	61
A.	Design de l'étude.....	61
B.	Définition de la zone d'étude	62
1.	Zone concernée par le PPA	62
2.	Provenance de la patientèle des urgences des HPMB	63
C.	Critères d'impact sanitaire	65
1.	Choix du critère d'impact	65
2.	Diagnostics retenus	66
3.	Critères d'inclusions	67
4.	Pathologie contrôle	68
D.	Données pollutions	69
1.	Air Rhône-Alpes	69
2.	Les stations de mesure	69
3.	Exposition de la population à la pollution atmosphérique.....	72
E.	Facteurs d'ajustement	73
1.	Particularité de la haute vallée de l'Arve : l'activité touristique	73
2.	Influence de la météorologie	75
3.	Fermeture du service d'accueil d'urgence de la Clinique de l'Espérance à Cluses	75
F.	Analyse statistique	76
V.	Résultats	78
A.	Analyse descriptive des données	78
1.	Description de la base de données médicales	78
2.	Description de la série	78
3.	Variations hebdomadaires de fréquentation des urgences	81
B.	Polluants	82
C.	Variables d'ajustement	83
1.	Distribution du nombre de nuitées.....	83
D.	Construction d'un modèle.....	85

E.	Modélisation des tendances	86
VI.	Discussion	87
A.	Puissance statistique	87
1.	Analyse par type de pathologie	88
2.	Analyse par classe d'âge	88
B.	Evaluation de l'exposition à la pollution atmosphérique	89
C.	Indicateur de santé	90
1.	Biais de sélection.....	Erreur ! Signet non défini.
D.	Facteurs de confusion	91
1.	Tourisme.....	91
2.	Offre de soin sur le territoire	92
3.	Graminées	92
4.	Météorologie	93
5.	Epidémiologie	93
6.	Facteurs individuels	93
VII.	Conclusion.....	94
VIII.	Lexique.....	95
IX.	Bibliographie	98
X.	Serment d'Hippocrate	116

Résumé français

Titre : Pollution atmosphérique dans la vallée de l'Arve et admissions aux urgences de l'hôpital de Sallanches: méthodologie d'une analyse de séries temporelles

Introduction: La pollution atmosphérique est un problème de santé publique. Les valeurs guides de l'OMS et les valeurs réglementaires françaises sont régulièrement dépassés dans la vallée de l'Arve. Pour les particules en suspension d'un diamètre inférieur à $10\ \mu$ (PM_{10}), la vallée est la zone de la région Rhône-Alpes où le dispositif préfectoral est le plus souvent activé pour dépassements des seuils d'alerte et d'information (devant Lyon et Grenoble). Jusque-là aucune étude n'a été réalisée pour quantifier l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans la vallée.

Objectif: Le but de la thèse était d'étudier la faisabilité et définir la méthodologie d'une étude (des effets à court terme) de la pollution atmosphérique en tenant compte des spécificités de la vallée de l'Arve. Celles-ci étaient le faible bassin de population (108 573 habitants en 2015) et les variations saisonnières de la taille de la population du fait de la forte activité touristique.

Matériels: La méthodologie proposée est une analyse par séries temporelles des données d'admissions aux urgences de Sallanches. La période d'étude était 2007-2015, pour laquelle les données d'admission journalières, en se focalisant sur les pathologies pour lesquelles un effet des polluants atmosphériques est a priori le plus plausible (respiratoires, cardio- et neurovasculaires). Les taux de polluants (PM_{10} , NO, NO_2 , et O_3), pour lesquels les données journalières sur la période d'étude ont été recueillies auprès du réseau de surveillance de la qualité de l'air. Le nombre de nuitées touristiques a été recueilli auprès de Savoie Mont Blanc Tourisme, et nous proposons de les prendre en compte comme facteur d'ajustement dans l'analyse par séries temporelles pour corriger les fluctuations de la taille de la population à risque. Les données météorologiques ont été recueillies auprès de Météo-France. La distribution des événements de santé a été caractérisée, et a permis d'identifier un modèle linéaire généralisé avec un lien logarithmique et une distribution négative-binomiale comme étant le modèle statistique le plus adapté

Résultats: Concernant les admissions pour motif cardio- et neurovasculaire, le nombre d'événements journaliers étaient en médiane 1 (25^{ème}, 75^{ème} centile, 0-2) et 0 (25^{ème}, 75^{ème} centile, 0-1). Selon une analyse d'étude de l'InVS en dessous de 5 admissions par jour pour motif cardiovasculaire les résultats obtenus sont ininterprétables. Concernant les admissions pour motif respiratoire, le nombre médian d'événements était de 2 (25^{ème}, 75^{ème} centile, 1-4).

Conclusion: La zone restreinte et la densité de population faible ne permettent pas d'avoir des effectifs suffisants pour obtenir une puissance statistique permettant une analyse fiable des effets à court terme de la pollution atmosphérique, au moins sur les admissions pour motif cardio- et neurovasculaire.

L'intégration des données touristiques dans le modèle statistique est innovante. Cette approche pourrait permettre de réaliser des études de série temporelles des effets à court terme de la pollution atmosphérique dans des zones touristiques avec une population élevée.

Concernant la vallée de l'Arve, notre modèle est pertinent mais la puissance statistique insuffisante. Augmenter la période d'étude permettrait un gain de puissance, mais avec un impact limité dans l'immédiat car les données hospitalières et de pollution ne sont disponibles qu'à partir d'avril 2006.

Mots clés: pollution ; séries temporelles ; méthodologie ; vallée de l'Arve ; urgences ; Sallanches

Résumé anglais

Title: atmospheric pollution in the ARVE Valley and admissions to emergency department in Sallanches hospital : methodology of time series analysis.

Introduction: atmospheric pollution is a public health problem. WHO guidelines as well as the current french legislation upper threshold are frequently exceeded in the Arve Valley. PM10 pollution levels are particularly of concern; the ‘alert and information’ threshold is more frequently reached in the valley than it is for two neighboring large cities (Lyon and Grenoble). Up until now, no study has been done to quantify the sanitary impact of the pollution in the Arve Valley.

Objectives: The aim of this thesis was to study the feasibility and defining the methodology for a study on short-term effect of atmospheric pollution in the Arve Valley. Local specificities include a small population base (108 573 residents in 2015) with a large seasonal variation because of an important tourist activity.

Methods: the method proposed is a time series analysis of hospital admissions to the emergency department in Sallanches. The study period was from 2007-2015, during which daily admissions of pollution-related pathologies (grouped into respiratory, cardiovascular and neurologic subcategories) was determined. Daily levels of PM10, NO, NO², O₃ were collected from an air quality monitoring network. Number of tourist nights was collected from Savoie Mont Blanc Tourisme; this information was used to estimate the daily population fluctuation due to tourist activity. This data was used as an adjustment factor in the analysis of the time series to account for tourist seasonal fluctuations. Weather conditions were collected from Meteo France.

We found that daily events followed a generalized linear model by a lognormal and negative binomial distribution as the most suitable statistical model.

Results: concerning cardiovascular and cerebrovascular disease, the number of daily events was: 1 (25th and 75th centile, 0-2), and 0 (25th and 75th centile 0-1). A statistical study done by InVS concluded that it would require 5 or more daily event for our study to gain enough statistical power to demonstrate any effect of pollution on emergency admission. Concerning respiratory disease, the average number of daily events was 2 (25th and 75th centile 1-4).

Conclusion: the Arve Valley small population size does not allow us to have enough admissions for a statistically significant analysis of short term pollution effect on emergency department admissions, with regards to cardiovascular and cerebrovascular disease.

Using information about tourist activity for statistical analysis is a novel approach. This could enable us to make statistical analysis about atmospheric pollution in touristic areas with a large population base.

Concerning the Arve Valley, our model is pertinent but unfortunately it does not have enough statistical power to draw any conclusions. Increasing the length of the study time could increase statistical power, however the data only exists since April 2006.

Key words: pollution, temporal series, methodology, Arve Valley, emergency department, Sallanches

I. Introduction

Pourquoi choisir ce sujet de thèse ?

La vallée de l'Arve est une zone d'accumulation de pollution atmosphérique. De nombreuses sources de polluants sont présentes et sa géographie ne permet pas leur dispersion. Depuis 2012 un Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) est en cours dans la région. Cette problématique concerne de nombreux domaines : la santé, la science, la société, l'administration, l'industrie, la politique... Le dépassement récurrent des seuils de pollution soulève beaucoup de questions et d'inquiétude. Il n'existe pas encore d'étude de l'impact de la pollution atmosphérique dans la vallée. Les données actuelles de la science au niveau international mettent en évidence des effets néfastes des polluants sur la santé entraînant une baisse de l'espérance de vie chez les personnes exposées à la pollution atmosphérique.

Les effets de la pollution sur la santé peuvent être à court (jours), moyen (semaines) ou long terme (années). Ces données sont assez récentes à l'échelle de l'humanité car la pollution atmosphérique fait l'objet d'études scientifiques depuis quelques années seulement. La caractérisation de la pollution atmosphérique est très complexe : les différents polluants ne sont pas tous mis en évidence, leur impact sur la santé varie selon le polluant et n'est pas toujours bien défini, les associations de polluants sont variables dans le temps et dans l'espace, les sources ne sont pas toutes clairement quantifiées.

Cette étude a pour but d'analyser le lien entre les variations des taux de polluants dans la vallée de l'Arve et la fréquentation des urgences de Sallanches pour des pathologies reconnues par la communauté scientifique comme étant impactées par la pollution atmosphérique. L'étude se focalise sur les effets à court terme.

A. Définitions

1. La pollution

La pollution est la modification d'un écosystème par des substances, des déchets ou des nuisances diverses (d'origine humaine ou non) altérant de manière plus ou moins importante son fonctionnement.

2. La pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique correspond à la pollution de l'air extérieur. La loi LAURE définit la pollution atmosphérique comme étant "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". (1) Pour le conseil de l'Europe en mars 1968 : "il y a pollution atmosphérique lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer ou une nuisance ou une gêne." La pollution peut être naturelle (éruptions volcaniques, émissions des végétaux...) ou liée à l'activité humaine (combustions, émissions industrielles...).

3. Un polluant

L'air que nous respirons est un mélange gazeux composé d'environ 78% de diazote (N_2), de 21% de dioxygène (O_2) et de 1% d'autres gaz (principalement l'Argon (Ar) et le dioxyde de carbone (CO_2)). Les polluants représentent moins de 0.05% de la composition de l'air, mais même avec un taux aussi bas leur présence peut avoir un impact important sur la santé. Une substance est considérée comme polluante lorsqu'elle est présente à une concentration suffisamment supérieure à son niveau normal pour produire un effet néfaste mesurable (sur l'homme, les animaux, les végétaux ou les matériaux). Un polluant primaire est directement émis dans l'atmosphère, un polluant secondaire est issu de transformations chimiques au sein de l'atmosphère.

Selon l’OMS les polluants les plus nocifs pour la santé publique sont notamment les matières particulaires, le monoxyde de carbone, l’ozone, le dioxyde d’azote et le dioxyde de soufre (2).

B. Historique

La notion de pollution est assez récente à l’échelle de l’humanité. Sa caractérisation date du XIXème siècle avec la révolution industrielle.

1. Le brouillard mortel de la Meuse

Il s’agit du premier épisode de pollution intense qui a permis de mettre en évidence les conséquences sur la santé des « brouillards mortels ». Du 1er au 5 décembre 1930, un brouillard épais se répand dans la vallée de la Meuse (environ 9000 habitants) (3). Cet épisode de pollution acido-particulaire fait suite à une activité industrielle intense (sidérurgie) associée à des conditions météorologiques entraînant une accumulation des polluants (brouillard, inversion de températures). Le 6 décembre 1930 les premières interrogations apparaissent avec la constatation de décès inhabituels. Les journaux étranger relaient les interrogations soulevées par le lien entre la présence d’un brouillard inhabituel et les décès inattendus (New York Times, Chicago Daily Tribune). Des milliers de pathologies respiratoires graves ont été mises en évidence. Selon une étude publiée en 2001 dans le JAMA (3) soixante décès supplémentaires seraient survenus entre le 4 et le 5 décembre 1930. Les conséquences sanitaires de cet épisode ont entraîné une prise de conscience concernant l’impact de la pollution sur la mortalité.

2. Le smog photochimique de Los Angeles

Littéralement « smoke + fog », le smog est un mélange de fumée et de brouillard stagnant parfois au-dessus des concentrations urbaines et industrielles.

Il est apparu pour la première fois pendant la seconde guerre mondiale en 1940, donnant l'illusion que la ville subissait l'attaque des japonais par des gaz toxiques. Los Angeles est située dans une plaine côtière étroite entourée de montagnes sur trois côtés. La brise venant du large ramène la pollution du jour précédent et empêche une bonne dispersion.

A cette époque les répercussions de ce smog ont été observées sur la végétation avec un ralentissement de la croissance des arbres dans un rayon de 80 km autour de la ville. En 1947 la municipalité prend des dispositions en créant une agence responsable de la qualité de l'air.

3. Donora

Donora est une ville industrielle située en Pennsylvanie, à l'époque elle comptait 14 000 habitants. Pour la première fois aux états unis des décès sont directement reliés à un épisode de pollution atmosphérique.

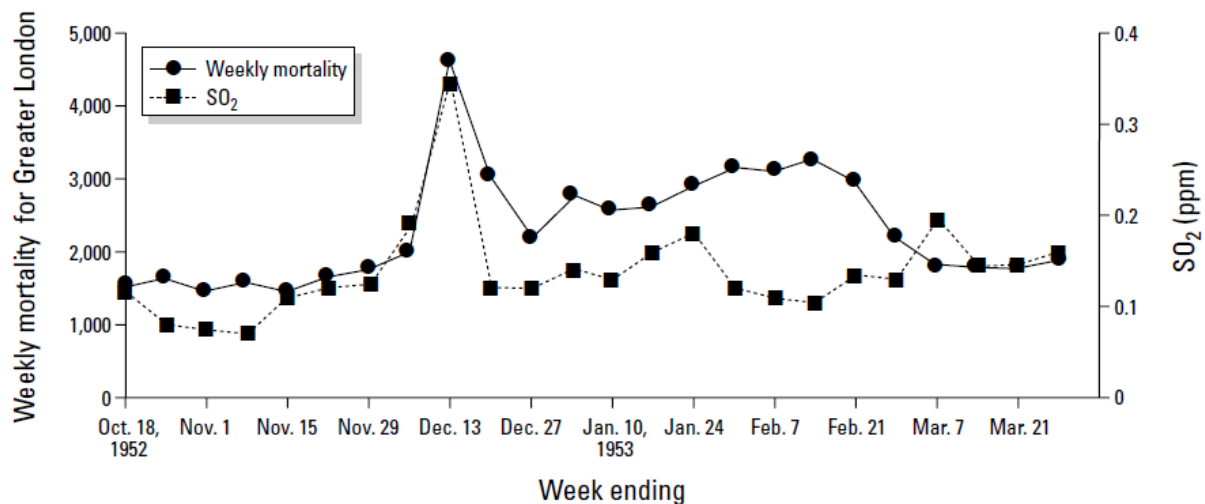
Du 27 au 31 octobre 1948, cette ville a connu un épisode de pollution atmosphérique important lorsqu'une couche d'inversion a entraîné un smog et la mort de 20 personnes (soit plus de 6 fois les taux de mortalité habituels) et 7 000 malades ce qui causa un déclin démographique.

4. Le grand smog de Londres



Du 5 au 9 décembre 1952, un épisode de smog particulièrement intense se produisit à Londres.

Le 4 décembre 1952 un anticyclone sans un souffle de vent s'est installé sur Londres provoquant une inversion thermique. Ce phénomène météorologique a provoqué l'accumulation de polluants (dioxyde de soufre issu de la combustion du charbon et particules liés aux transports) dans une couche jaune-noire. Cet épisode a entraîné une augmentation de la mortalité à court terme mais également une augmentation de la mortalité à distance de l'évènement. Le week-end suivant (13 décembre 1952), 4500 morts supplémentaires ont été dénombrés par rapport à l'année précédente. Le taux de mortalité a augmenté de 80% en décembre 1952, de 50% en janvier 1953 et 40% en février 1953 par rapport à l'année précédente. Environ 12000 décès supplémentaires ont été observés entre décembre 1952 et février 1953 (4,5). C'est la première fois qu'on observe des effets sur la santé à moyen terme.



Nombre de décès et concentrations en dioxyde de soufre lors de l'épisode de smog de l'hiver 1952 à Londres. Source : ML Bell, 2001 (5)

C'est à la suite du grand smog de Londres que le gouvernement britannique a adopté une loi sur la qualité de l'air. Le 5 juillet 1956, le Clean Air Act vise à interdire les fumées noires ou « sales ».

C'est un épisode de pollution historique qui a eu des répercussions importantes avec une prise de conscience par la population des effets du smog et des avancées scientifiques. C'est la première fois qu'on établit un lien entre la pollution et les pathologies cardiovasculaires.

C. Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE)

La loi n° 96-1236 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie a été adoptée le 30 décembre 1996, également appelée loi LAURE ou Lepage.(1) Elle s'appuie sur le droit reconnu à chacun de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Elle rend obligatoire la surveillance de la qualité de l'air, la définition d'objectifs de qualité et l'information du public. La loi prescrit l'élaboration d'un Plan Régional de la Qualité de l'Air (PRQA), de Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) et pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants d'un Plan de Déplacement Urbain (PDU). Elle instaure une procédure d'alerte, gérée par le Préfet pour informer le public et prendre des mesures d'urgence en cas de dépassement de seuil. L'Etat délègue ses missions de surveillance à des organismes agréés (AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air) et «équilibrés» regroupant 4 collèges (Etat, collectivités territoriales, industriels, associations).

II. Pollution atmosphérique

A. Généralités

En 2012, on estimait à 3,7 millions le nombre de décès prématurés causés dans le monde par la pollution ambiante (de l'air extérieur). (6) Ces décès seraient principalement secondaires à la pollution par particules (PM).

De nombreuses personnes sont exposées à la fois aux polluants intérieurs et extérieurs. Il existe une potentialisation des effets lorsqu'une personne est exposée en extérieur et en intérieur.

La pollution de l'air (intérieur et extérieur) est désormais le principal risque environnemental pour la santé dans le monde. Selon l'OMS, on pourrait sauver des millions de vies en améliorant la qualité de l'air. La pollution de l'air extérieur a été classée cancérigène pour l'homme en octobre 2013 par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC).

Les décès dus à la pollution extérieure seraient secondaires à (6) :

- 40% : cardiopathies ischémiques
- 40% : accidents vasculaires cérébraux
- 11% : bronchopneumopathies chroniques obstructives (BPCO)
- 6% : cancers du poumon
- 3% : infections aiguës des voies respiratoires inférieures chez l'enfant.

Les effets de la pollution sur la santé peuvent être à court, moyen ou long terme.

Les polluants atmosphériques pénètrent dans l'organisme principalement par inhalation (voie respiratoire).

L'impact de la pollution atmosphérique sur la santé dépend de la concentration en polluants, de la durée d'exposition, de la sensibilité individuelle et de la ventilation pulmonaire.

B. Les différents polluants

Dans cette thèse on s'intéressera surtout aux PM₁₀, NO₂, NO et O₃.

1. Généralités sur les polluants

Les polluants retrouvés dans l'atmosphère sont très nombreux, environ 1400. Certains ne sont pas encore mesurables et d'autres ne sont même pas encore identifiés ! Les polluants mesurés dans les études scientifiques ou dans les stations de surveillance de l'air sont des « indicateurs de pollution ». Les NO_x (oxydes d'azote) représentent les polluants émis par le trafic routier, l'ozone la pollution photochimique (photo-oxydante, causée par la transformation de polluants primaires, des précurseurs chimiques, en espèces oxydantes sous l'effet des rayonnements solaires) et le Benzo(a)pyrène représente les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques).

2. Effet « cocktail » ou « soupe chimique »

Dans l'atmosphère on est exposé simultanément à des dizaines de polluants. Les combinaisons possibles sont très diverses en fonction des sources à proximité. Le terme « soupe chimique » décrit bien ce phénomène d'expositions simultanées et multiples.

Les polluants potentialisent leurs effets lorsqu'ils sont associés. Les mélanges de polluants surpassent le cumul des toxicités individuelles de chacun.

On connaît partiellement les effets de certains polluants. Les nouvelles études retrouvent régulièrement des effets plus importants ou nouveaux, surtout lorsqu'ils sont associés. De même, certaines substances paraissent peu nocives isolées (innocuité supposée) mais l'action combinée pourrait avoir des conséquences inattendus sur la santé humaine. L'effet synergique des polluants démultiplie leur toxicité. Il est très difficile de savoir précisément l'étendue des conséquences de la pollution atmosphérique car il existe un « effet cocktail ». Il représente le pouvoir de plusieurs substances chimiques, lorsqu'elles sont associées, à induire un effet toxique pour l'organisme à des doses auxquelles chacune est habituellement inoffensive prise séparément. L'effet cocktail reflète communément un phénomène par lequel plusieurs acteurs, facteurs ou influences agissant ensemble créent un effet plus grand que la

somme de ceux attendus s'ils avaient opéré indépendamment, ou créent un effet que chacun d'entre eux n'aurait pas pu obtenir en agissant de manière isolée.

L'exposition aux polluants n'est pas que ponctuelle puisque notre corps accumule des polluants, ce qui rend encore plus complexe l'étude de l'impact de la pollution sur la santé.

En extrapolant on peut dire que l'impact de la pollution est individuel. Chaque personne a une exposition différente en fonction de son environnement, une pénétration des polluants différente (fonction de son anatomie, de son activité, de sa fréquence respiratoire, de sa taille...), un stock de polluants différent et une susceptibilité individuelle aux polluants différente.

3. Ozone (O₃)

C'est un polluant secondaire formé suite à des réactions photochimiques dans l'air à partir d'oxydes d'azote (NO_x) et de composés organiques volatiles (COV) en présence de rayons ultraviolets.

En présence du soleil : $\text{NO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3$

C'est un oxydant très puissant, il est instable et très réactif. Il est surtout présent en saison estivale et en altitude. À une concentration élevée son odeur est perceptible.

Sources: L'ozone est naturellement présent dans l'atmosphère, il est présent en quantité importante dans la stratosphère (couche d'ozone). Dans la couche basse (troposphère) il est considéré comme un polluant. Les feux de forêts entraînent une production naturelle d'ozone. C'est un polluant industriel secondaire, il est produit par l'action du rayonnement solaire sur les produits chimiques. Dans les transports il est produit lorsqu'il existe une combustion incomplète associée à un rayonnement ultraviolet. Dans la vallée de l'Arve ce polluant est peu présent en fond de vallée. On le retrouve à des taux plus élevés au niveau de la station de Chamonix et surtout au niveau de la station de l'Aiguille du Midi (avec dépassement de la valeur cible).

Effets sur la santé : C'est un irritant pour les muqueuses oculaires et respiratoires. Il provoque toux et crises d'asthme. Il est peu soluble dans l'eau, et ses effets sur le tissu pulmonaire se situent essentiellement au niveau distal, en particulier bronchiolaire et alvéolaire.

Recommandations OMS : valeur cible 100µg/m³ en moyenne sur 8 heures.

Normes françaises:

Valeur cible : $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8 heures. C'est une moyenne à ne pas dépasser plus de 25 fois par an.

Seuil d'information et de recommandation: à $180\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire.

Seuil d'alerte: $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire.

4. Oxydes d'azote (NOx), Dioxyde d'azote (NO₂), monoxyde d'azote (NO)

Le monoxyde d'azote est un gaz incolore tandis que le dioxyde d'azote est un gaz brun-rougeâtre.

Le dioxyde d'azote est produit par oxydation de l'azote (N₂) lors des combustions (surtout incomplètes) de carburants (principalement diesel) et de combustibles fossiles.
 $\text{NO}_x \Rightarrow \text{NO} + \text{NO}_2$

Il est également responsable de la formation secondaire de particules fines et d'ozone.

Sources: principalement le transport routier, secondairement l'industrie et le secteur résidentiel/tertiaire.

Dans la vallée de l'Arve ce polluant est retrouvé à des taux élevés à proximité du trafic routier (notamment station des Bossons proche de la RN205).

Effets sur la santé: Le dioxyde d'azote est un puissant oxydant. À forte concentration, il est irritant pour les muqueuses oculaires et les voies respiratoires. Il augmente la fréquence et la gravité des crises d'asthme. Il augmente la sensibilité des bronches aux infections microbiennes, il diminue les défenses immunitaires. Au niveau cellulaire il provoque une réaction d'oxydation libérant des radicaux libres et des médiateurs chimiques.

Recommandations OMS pour le NO₂: La valeur limite de la concentration annuelle est fixée à $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le seuil d'information et de recommandation est fixé à $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur limite horaire à ne pas dépasser plus de 18 fois par an).

Normes françaises:

Objectif de qualité: $40\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Valeurs limites: $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 fois par an, $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

Seuils d'alerte: $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire sur 3 heures consécutives, $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire à J-1, J et prévision à J+1.

5. Dioxyde de soufre (SO₂)

C'est un polluant historique qui a été identifié dans les émissions industrielles des années 70. Il a été utilisé comme marqueur de pollution dans les premières études épidémiologiques.

Sources: Il est produit par la combustion des énergies fossiles (charbon et pétrole et par certains procédés industriels).

Effets sur la santé: C'est un gaz irritant très soluble (donc rapidement absorbé par les muqueuses). Il provoque des irritations oculaires, une inflammation de l'appareil respiratoire entraînant une toux, une augmentation de la production de mucus, une exacerbation de l'asthme et des bronchites chroniques, une sensibilisation aux infections respiratoires. Il augmente les hospitalisations pour des pathologies cardio-vasculaires ischémiques.

Recommandations OMS: 20 µg/m³ moyenne sur 24 heures (réduction récente du taux car les données OMS actuelles retrouvent un effet sur la santé dès 20µg/m³), 500 µg/m³ moyenne sur 10 minutes.

Normes françaises: valeur limite 125µg/m³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 fois par an et 350µg/m³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 fois par an.
Objectif qualité : 50µg/m³ en moyenne annuelle.

6. Les matières particulaires ou poussières en suspension (PM)

Les PM regroupent des particules très variées, elles ont des sources différentes, des compositions chimiques différentes et donc des actions sur la santé différentes. Les particules sont classées selon leur taille :

- PM₁₀: particules grossières (diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres)
- PM_{2,5} : particules fines (diamètre inférieur à 2,5 micromètres)
- PM_{1,0} : particules très fines (diamètre inférieur à 1,0 micromètre)
- PM_{0,1} : particules ultrafines/nanoparticules (diamètre inférieur à 0,1 micromètre)

Les PM₁₀ incluent donc les particules fines, très fines et ultrafines. Les PM_{2,5} incluent les particules très fines et ultrafines.

Les PM sont des éléments solides (parfois liquides) en suspension dans l'air. Les particules dites « primaires » sont issues directement des activités industrielles/ domestiques/ liées aux transports, elles sont émises dans l'atmosphère. Les particules dites

« secondaires » résultent de la combinaison de plusieurs polluants (dioxyde de soufre, oxydes d'azote, composés organiques volatils...), elles sont créées dans l'atmosphère.

Sources: Elles sont très nombreuses et variées, elles varient en fonction du type de particules et donc de leurs compositions chimiques. Elles sont principalement dues au secteur résidentiel/ tertiaire, le transport routier et l'industrie manufacturière.

Effet sur la santé: Ces effets sont très variables selon la particule considérée. Certaines particules ont des propriétés mutagènes, tératogènes et cancérigènes. Selon leur granulométrie (taille de la particule), elles pénètrent plus ou moins profondément dans l'arbre pulmonaire. Les plus grosses (supérieures à 10 μ m) sont arrêtées au niveau des voies aériennes supérieures et ont donc un impact moins important sur la santé. En dessous de 10 micromètres les particules pénètrent dans les voies aériennes inférieures et ont des effets néfastes plus importants sur la santé. Les particules de diamètre inférieur à 2.5 micromètres pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire (jusqu'aux alvéoles pulmonaires) et peuvent secondairement passer dans la circulation sanguine. Les plus petites particules peuvent transporter des composés toxiques dans les voies respiratoires inférieures et donc potentialiser l'effet des autres polluants en facilitant leur inhalation (dioxyde de soufre, polluants acides). Selon l'OMS, l'exposition chronique aux particules est un facteur de risque de maladies cardiovasculaires (infarctus, accidents vasculaires cérébraux) et respiratoires (asthme, bronchite chronique), et de cancers du poumon. Elles accroissent les taux de mortalité et de morbidité, au quotidien comme à plus long terme. Même à faible concentration ces particules ont un impact sur la santé. L'OMS n'a identifié aucun seuil au-dessous duquel elles n'affectent en rien la santé.

Recommandations OMS :

- PM_{2.5} : 10 μ g/m³ moyenne annuelle, 25 μ g/m³ moyenne sur 24 heures

- PM₁₀ : 20 μ g/m³ moyenne annuelle, 50 μ g/m³ moyenne sur 24 heures

L'objectif selon l'OMS est d'avoir un taux le plus bas possible car il n'existe pas de seuil de concentration en particules en deçà duquel aucun effet sanitaire ne serait constaté.

Normes françaises:

Seuil d'alerte: 80 μ g/m³ en moyenne journalière pour les PM₁₀

- PM₁₀ : Valeur limite annuelle : 40 μ g/m³.

Valeur limite journalière : 50 μ g/m³, à ne pas dépasser plus de 35 jours par an.

Objectif qualité de l'air à 30 μ g/m³ en moyenne annuelle.

- PM_{2.5} : Valeur limite annuelle : 25 μ g/m³,

Valeur cible : 20 μ g/m³,

Objectif annuel de qualité : 10 μ g/m³

7. Les composés organiques volatils (COV)

Les COV regroupent des molécules formées d'atomes de carbone et d'hydrogène principalement. Ils constituent une famille large, présente dans l'atmosphère à l'état de gaz ou de vapeur.

Sources : Variées selon les COV. Principalement secteur primaire (épandages/lisiers), secteur de l'industrie (utilisation de solvants), secteur des transports.

- Les Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (principalement le Benzène) : Ils sont très réactifs, ce sont des précurseurs de l'ozone et de sous-produits à caractère oxydant.

Le benzène est le plus surveillé car il a une toxicité hématologique et est classé cancérigène du groupe 1 par le CIRC.

Objectif de qualité $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

Valeur limite $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

- Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) : Le Benzo(a)pyrène (BaP) est soumis à une réglementation car ils sont classés IARC1 (cancérogène avéré chez l'Homme).

Les taux sont régulièrement dépassés dans la vallée de l'Arve. Ils sont principalement cancérigènes, mutagènes et tératogènes. Ils ont un impact sur la santé à long terme.

Valeur cible $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

- les Aldéhydes : principalement polluants d'intérieur.

8. Monoxyde de carbone

Sources : Il provient de la combustion incomplète de carburants (principalement essence) et des énergies fossiles.

Effets sur la santé : c'est un gaz asphyxiant qui se fixe à l'hémoglobine diminuant l'oxygénation des tissus (système nerveux, cœur, vaisseaux sanguins...). Il peut être responsable de céphalées, vertiges, asthénie, vomissements. A très forte concentration il peut entraîner un décès.

Recommandations OMS : valeur limite à $10\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8 heures et $30\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire.

Normes françaises : Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures : $10\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

9. Métaux lourds

Les principaux métaux sont l'Arsenic (As), le Cadmium (Cd), le Chrome (Cr), le Nickel (Ni), le Plomb (Pb) et le Zinc (Zn).

Sources: les activités industrielles (métallurgiques principalement), les activités de combustion (charbons, pétroles, ordures ménagères), le transport routier.

Effets sur la santé: Certains sont nécessaires à la vie animale mais à faible dose (Fe, Zn, Ni, As, Cr), d'autres n'ont aucun intérêt. La toxicité dépend de la dose. Ils s'accumulent dans l'organisme à la suite d'une inhalation ou d'une ingestion. Ils peuvent affecter les fonctions neurologiques, rénales, hépatiques, respiratoires. Le potentiel toxique et carcinogène varie considérablement d'un composé à l'autre.

Recommandation OMS: pour le Plomb (Pb), valeur cible à $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle et valeurs limites à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

Normes françaises:

Valeur limite : Plomb (Pb) $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Valeurs cibles en moyenne annuelle : Plomb (Pb) $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Arsenic (As) $6 \text{ ng}/\text{m}^3$, Cadmium (Cd) $5 \text{ ng}/\text{m}^3$, Nickel (Ni) $20 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Synthèse des normes françaises en vigueur en annexe 1

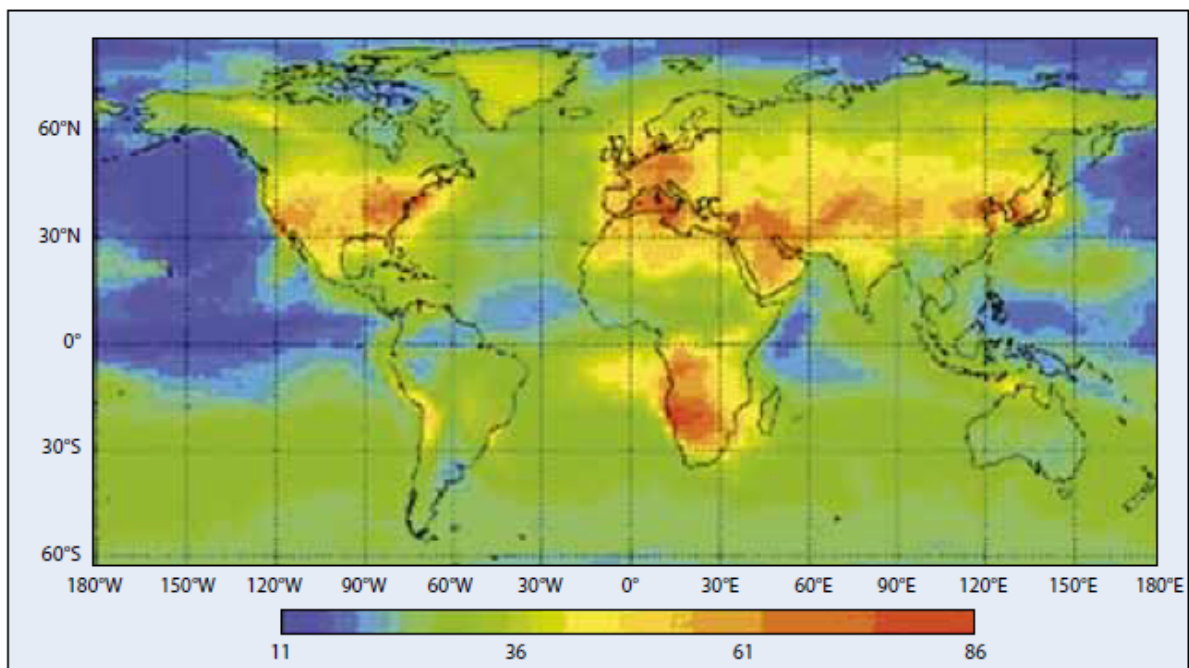
10. L'air pur existe-t-il ?

Tout d'abord, qu'est-ce que l'air pur ? Selon le Larousse quelque chose de pur est quelque chose qui est sans mélange, qui n'est ni altéré, ni vicié, ni pollué. L'air est défini comme un fluide gazeux composé, constituant l'atmosphère terrestre. Il est invisible, inodore, pesant, compressible et élastique. Il entoure le globe terrestre et sa masse forme l'atmosphère. C'est un des quatre éléments de la physique ancienne.

L'air pur est donc défini par opposition à l'air pollué, altéré ou vicié. Un air vicié est par définition un air qui a déjà été utilisé, par conséquent l'air des enceintes dans lesquelles séjournent des êtres vivants se trouve plus ou moins vicié.

Selon Galien la nature elle-même aurait prévu le cas de l'air nocif puisqu'elle a prévu un réservoir d'air (le poumon) pour pouvoir retenir sa respiration afin de traverser sans dommage un air malsain. Par ailleurs le fait que la respiration nasale prévoit que l'air passe par un filtre (l'ethmoïde) pour limiter l'impact des éléments nocifs se trouvant dans l'air corrobore le fait que l'air que nous respirons n'est pas toujours inoffensif. L'odorat constitue un système d'alerte pour détecter des vapeurs nocives qui seraient passées inaperçues.

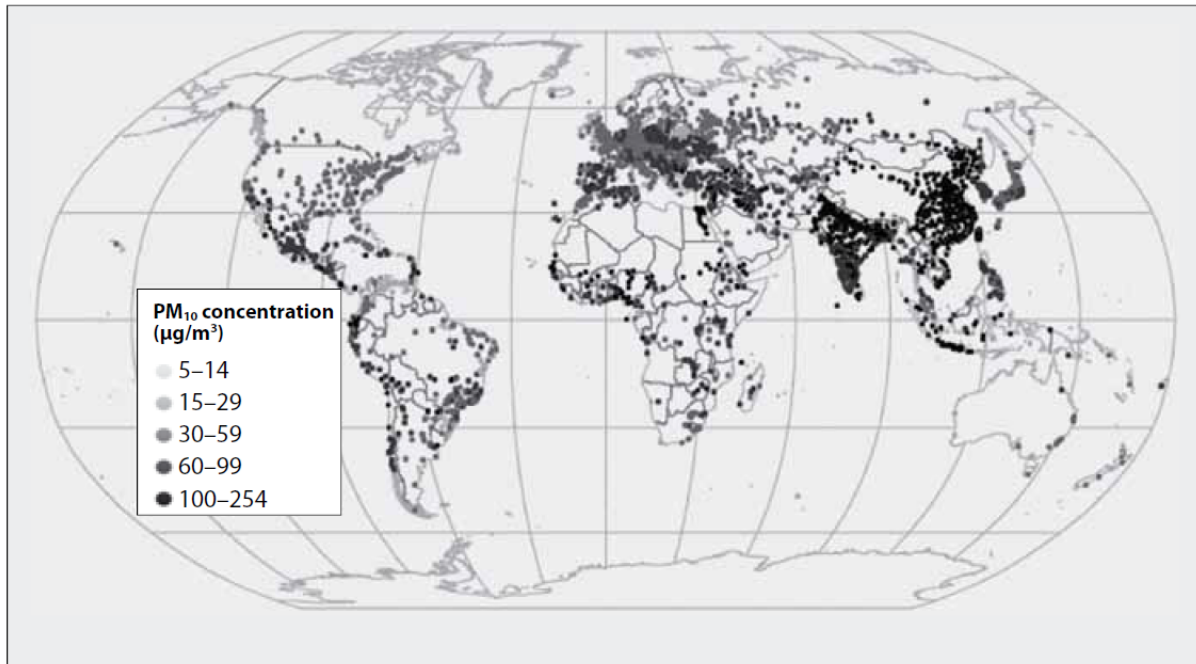
Par exemple, l'ozone est un polluant qui peut être retrouvé sous forme naturelle, il est présent sur la quasi-totalité du globe terrestre même dans les zones non habitées. La carte ci-dessous illustre la présence de l'Ozone sur le globe avec des concentrations plus importantes au niveau des zones industrialisées.



Source air quality guidelines: Mean afternoon (13:00 to 16:00) surface ozone concentrations calculated for the month of July

Les particules fines (PM₁₀), polluants produits par l'activité de l'homme, sont retrouvées dans toutes les zones habitées même les zones peu industrialisées.

La carte ci-dessous met en évidence une concentration importante en PM₁₀ au niveau des zones industrialisées mais également à une concentration moindre dans des zones moins industrialisées.



Source Air Quality Guidelines OMS 2005: Estimated annual average concentrations of PM₁₀ in cities with populations over 100 000 and in national capital cities

L'air n'est pas statique, il est en mouvement perpétuel et entraîne avec lui de nombreux polluants.

L'air pur n'existe pas en tant que tel. L'air est de plus en plus pollué, la concentration en polluant augmente et la pollution se répand dans tout le globe. Quels impacts ces changements de notre milieu de vie ont-ils sur notre santé ?

C. Impact de la pollution atmosphérique sur la santé

1. Les études expérimentales

Les études expérimentales d'exposition permettent d'étudier un polluant de manière isolée alors que les études de cohorte étudient l'exposition à un aérosol de polluants. Ces études ont permis d'établir un lien de causalité certain entre un polluant et les conséquences sur la santé. Elles ont pu établir une relation dose/effet et préciser le délai entre l'exposition et l'apparition des symptômes. L'utilisation de chambres d'exposition permet de contrôler l'air inhalé par un petit nombre de volontaires sains.

L'exposition contrôlée à l'Ozone (O_3) entraîne une diminution des capacités pulmonaires (diminution du volume d'inspiration maximum) par des réactions réflexes (irritation bronchique et toux). (7)

Les prélèvements locaux par lavage broncho-alvéolaire (LBA) et micro-biopsie mettent en évidence une oxydation des amino-acides et des acides gras insaturés. Des effets pour un seuil de concentration en polluants plus bas sont retrouvés chez les personnes fragiles (asthmatiques principalement).

Les prélèvements locaux attestent que le NO_2 pénètre plus profondément dans l'arbre bronchique jusqu'aux bronchioles terminales, c'est également un puissant oxydant altérant les membranes cellulaires.

Ces études expérimentales ont également mis en évidence des différences significatives selon les voies d'inhalation. La concentration intra pulmonaire en SO_2 est bien plus élevée en cas de respiration buccale alors qu'elle est moindre avec une respiration nasale.(7) Ceci permet de déduire que le SO_2 a une forte impaction dans les voies nasales et que les personnes ayant une respiration buccale (activités sportives, rhinite allergique...) seront plus sensibles. Certaines études retrouvent une augmentation des cellules et des médiateurs de l'inflammation dans le lavage broncho-alvéolaire (variable en fonction de la durée d'exposition et du délai entre l'exposition et le prélèvement).

L'exposition contrôlée aux PM_{2.5} a permis de mettre en évidence une augmentation de la concentration sanguine en fibrinogène 18 heures après une exposition de 2 heures, sans relation dose effet au-dessus de 47.2µg/m³ (p=0.009). Localement, on retrouve dans le LBA de personnes saines exposées pendant 2 heures à une concentration de 206.7µg/m³ de PM_{2.5} une augmentation des polynucléaires neutrophiles (bronchioles : +8.44% +/- 1.99 et alvéoles : +4.20% +/- 1.69) par rapport à des personnes non exposées. (8)

L'exposition contrôlée et combinée (PM_{2.5} et O₃) a mis en évidence une augmentation de la pression artérielle diastolique 2 heures après l'exposition (augmentation moyenne de 6mmHg p=0.013). (9)

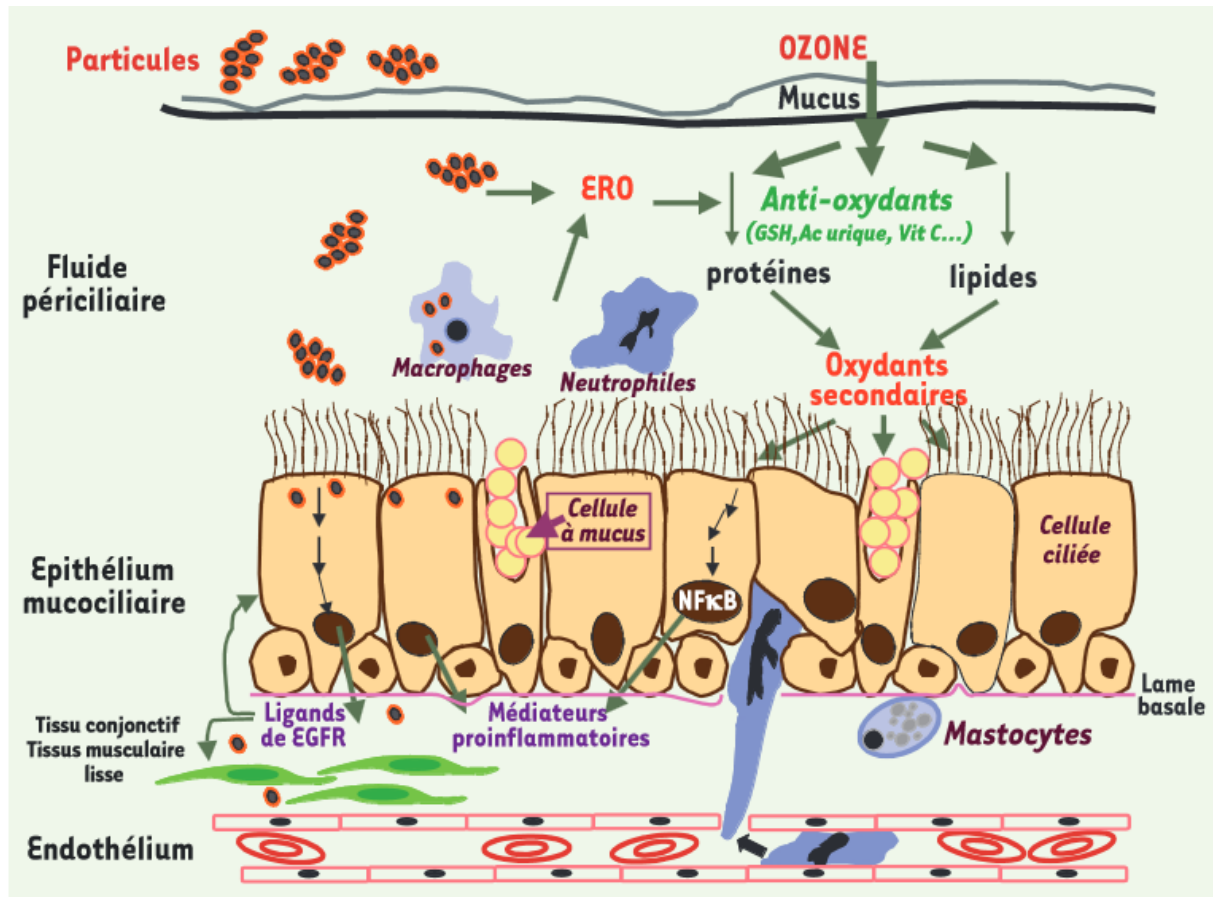
La pollution atmosphérique étant composée en partie de ces molécules, elle peut être considérée comme un facteur de risque cardiovasculaire.

2. Comment la pollution impacte-t-elle sur la santé ? Mécanismes physiopathologiques

Deux polluants ont été tout particulièrement étudiés, l'ozone (épisodes de pollution photo-oxydante), et les particules fines (associées essentiellement au trafic automobile). Actuellement les études se penchent sur les effets des nano-particules dont l'impact sur la santé est encore mal connu.

Les études mettent en évidence le rôle central du stress oxydant qui déclenche une cascade de réactions (événements moléculaires et cellulaires). Les conséquences sont nombreuses : réponse inflammatoire, modulation de la prolifération et de la différenciation cellulaire, voire induction de la mort cellulaire (apoptose ou nécrose). L'intensité de la réponse dépend de la balance pro-oxydants/antioxydants.

Le schéma ci-dessous illustre les mécanismes de toxicité de l'O₃ et des PM

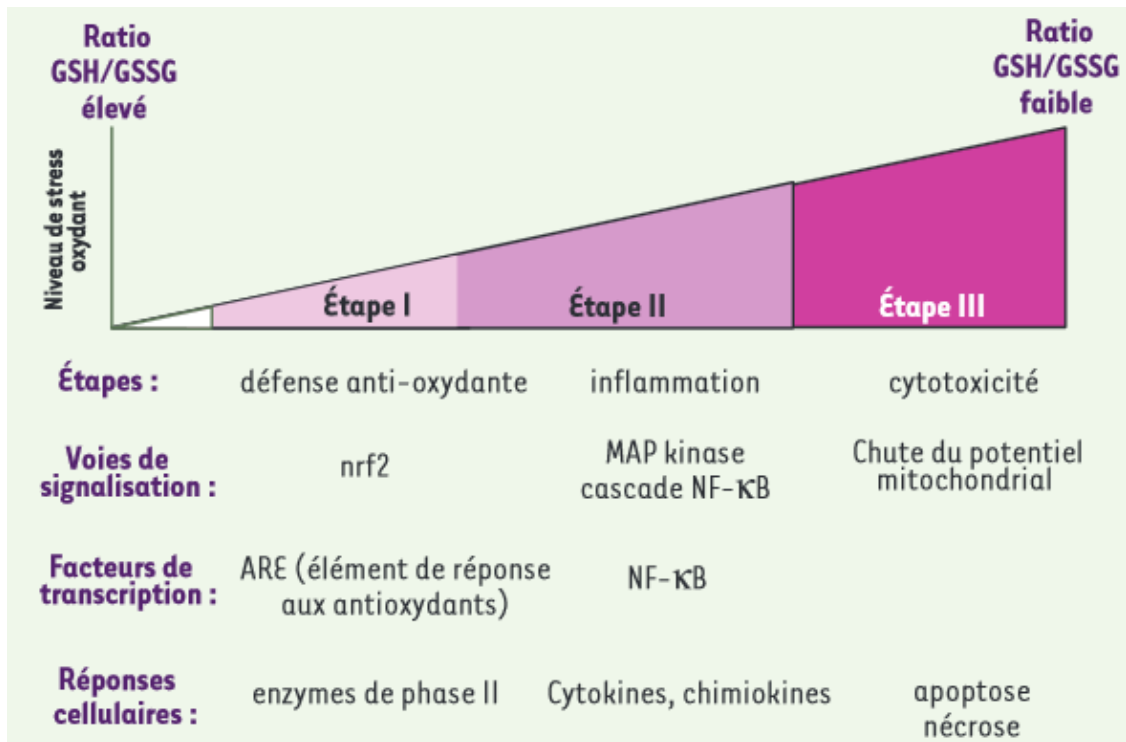


Mécanismes de toxicité de l'ozone et des particules atmosphériques dans les voies aériennes. (10)

L'ozone (O₃) est très réactif, il n'atteint pas directement les membranes des cellules épithéliales. Les oxydations se font via les Espèces Réactives de l'Oxygène (ERO). Il interagit avec les composés du fluide péruciliaire qui recouvre l'épithélium mucociliaire des voies aériennes et le surfactant qui tapisse les alvéoles pulmonaires. Ces fluides possèdent une activité anti-oxydante (via la vitamine C, l'acide urique et le glutathion réduit) qui représente une première ligne de protection. Lorsque ces capacités sont dépassées, les électrons libres de l'ozone vont oxyder les molécules du fluide péruciliaire pour produire des radicaux libres (comme le radical hydroxyl) et des produits de réactions secondaires. Ces produits vont atteindre l'épithélium et favoriser la migration des polynucléaires neutrophiles (PNN) via l'activation de voies de signalisations cellulaires par les cytokines chimioattractantes. L'activation des neutrophiles va conduire à la production d'ERO qui vont affaiblir davantage les défenses anti-oxydantes du fluide péruciliaire. (10) Les populations de lymphocytes et de mastocytes sont aussi augmentées et la capacité de phagocytose des macrophages est diminuée.

Les particules (PM) produisent des ERO en fonction de leur taille et de leur composition chimique (métaux et composés organiques). Les particules issues de processus de combustion (comme celles provenant des échappements Diesel) sont caractérisées par un cœur carboné sur lequel sont adsorbés des composés organiques. Elles s'agglutinent et s'associent à d'autres composés (métaux, allergènes, endotoxines...). Plus le diamètre des particules est faible, plus le nombre de particules collectées par unité de masse est important. Ceci augmente leur réactivité et donc augmente la production d'espèces radicalaires. En condition acellulaire, les particules ultrafines produisent davantage d'ERO responsables de cassures au niveau de molécules d'ADN que ne le font les particules fines. Ceci n'est pas le cas en présence de cellules comme les macrophages, probablement suite à des mécanismes de séquestration/chélation des métaux.(11) Les particules ultrafines ont la capacité d'intégrer les mitochondries des macrophages en culture. L'altération du fonctionnement de ces organites cellulaires contribuerait à la potentialisation du stress oxydant induit par les particules. Plus les PM sont petites, plus elles sont chargées en molécules organiques (quinones, HAP) ou inorganiques (métaux de transition) et plus elles sont dangereuses. Elles s'accumulent dans les poumons et leur biopersistance conduit à une inflammation chronique responsable de l'aggravation progressive des maladies respiratoires.

Les métaux jouent le rôle de catalyseurs suite aux réactions d'oxydation. Ils subissent des cycles d'oxydoréduction au cours desquels ils produisent le radical hydroxyl, très réactif.



Le modèle de stress oxydant : les différentes étapes (10)

Les différentes étapes du stress oxydatif :

Lorsque le stress oxydatif est à un niveau bas, les cascades anti-oxydantes parviennent à restaurer l'homéostasie redox de la cellule (étape 1). Lorsque le stress oxydatif augmente (étape 2) les voies de signalisation MAP Kinase et NF-KB sont activées entraînant une inflammation. Quand le stress oxydatif atteint un niveau élevé la cellule entre en apoptose/nécrose (étape 3) via la voie mitochondriale (dommages secondaires aux ERO). Les macrophages sont plus sensibles que les cellules épithéliales à l'induction de l'apoptose (probablement par leurs capacités de phagocytose).

Plusieurs études confirment l'activation des cascades de l'inflammation après inhalation de particules (PM). Par ailleurs l'instillation d'un anti-oxydant avant l'inhalation réduit significativement l'inflammation ce qui confirme le mécanisme d'action au niveau pulmonaire. (12). Au niveau cardio-vasculaire, les études expérimentales réalisées chez des animaux retrouvent une inflammation du myocarde et une fibrose après inhalation chronique de PM. Un autre modèle d'étude retrouve des lésions ischémiques au niveau du muscle cardiaque (avec augmentation du segment ST). (12) L'inhalation de PM chez les rats entraîne une augmentation du stress oxydatif dans le cœur 30 minutes plus tard, l'administration d'un puissant anti-oxydant avant l'inhalation permet de réduire les lésions d'oxydation.

Les études réalisées chez l'homme retrouvent une augmentation des marqueurs de l'inflammation comme la CRP (C-réactive protéine) dans les prélèvements sanguins après

exposition aux PM. L'inflammation systémique est un facteur favorisant l'athérosclérose, augmentant ainsi le risque cardiovasculaire. La réaction systémique augmente également la coagulation et entraîne une dysfonction endothéliale conduisant à une augmentation de la vasoconstriction. Elle produit des modifications vasculaires et sanguines qui augmentent ou déclenchent des lésions ischémiques au sein du myocarde.

Une étude publiée dans *Circulation* en 2002 retrouve un passage systémique des particules ultrafines de carbone après inhalation chez des volontaires sains. Ceci suggère un effet direct des particules ultra fines ajouté aux effets indirects via les cascades d'inflammation. (13)

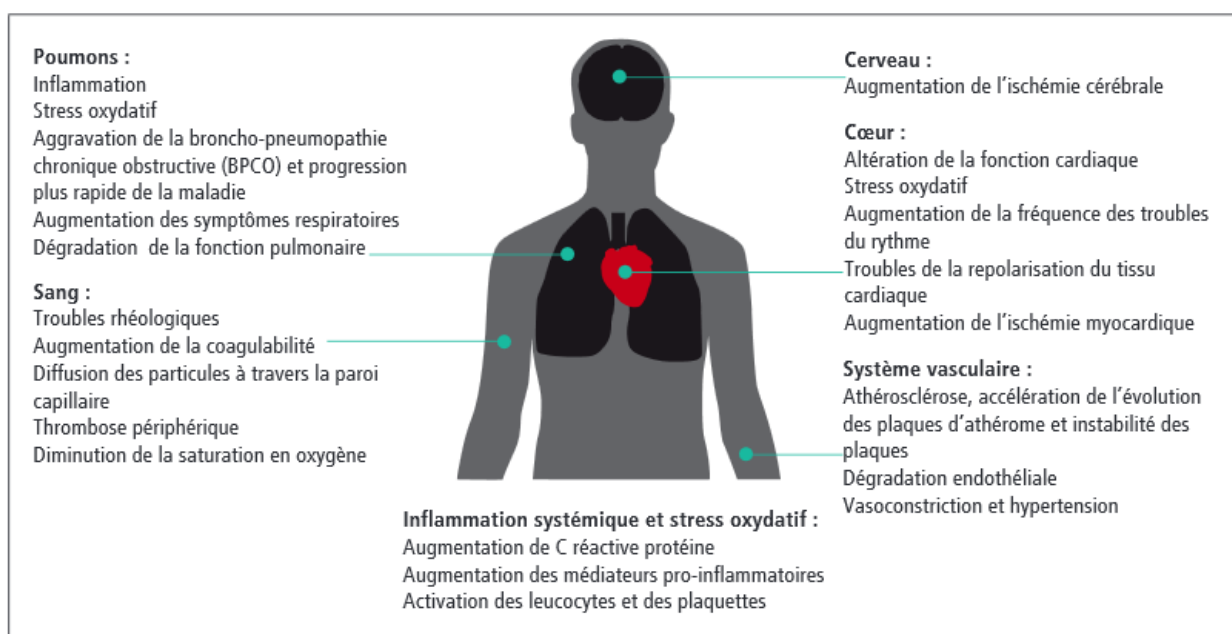
Les études de cohorte réalisées chez l'homme retrouvent un lien fort entre la pollution atmosphérique et la formation de plaques d'athérome à l'origine d'ischémie artérielle. (14)

3. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique : Le projet APHEKOM

Durant 3 ans, entre 2008 et 2011 plusieurs scientifiques ont étudié l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé en se basant sur 25 villes européennes (dont 9 villes françaises du programme PSAS9). Si les taux de PM_{2.5} étaient ramenés au seuil de 10 microgrammes par mètre-cube (valeur guide préconisée par l'OMS) le gain d'espérance de vie, selon les villes, pourrait atteindre 22 mois.(15)

Cette étude a précisé l'impact des particules en suspension sur la santé.

Effets des particules en suspension sur la santé



Source : Aphekom (15)

Pour estimer l'impact à court terme ils ont utilisé un risque relatif estimé à partir des données actuelles de la science. Par exemple pour les PM₁₀ : RR de 1,006 (1,004 – 1,008) par 10 µg/m³ de PM₁₀.

Concernant spécifiquement l'impact sanitaire à court terme les principaux résultats étaient :

- Une diminution de la moyenne annuelle de PM₁₀ à la valeur guide de l'OMS (20 µg/m³) aurait conduit à différer plus de 245 décès par an, et à éviter 360 hospitalisations pour cause cardiaque et 673 hospitalisations pour pathologies respiratoires au total dans les neuf villes françaises.

-Une diminution de 5 µg/m³ de PM₁₀ aurait conduit à différer 230 décès, et à éviter 330 hospitalisations cardiaques et 630 hospitalisations respiratoires.

-Le respect des valeurs de l'OMS concernant l'Ozone (absence de maximum journalier sur 8 heures supérieur à 100 µg/m³) aurait conduit à différer 69 décès et à éviter 62 hospitalisations respiratoires au total dans les neuf villes françaises.

-Une diminution de 5 µg/m³ des maxima journaliers sur 8 heures d'O₃ aurait conduit à différer 119 décès et à éviter 197 hospitalisations respiratoires.

Notre étude se focalise sur l'impact à court terme pour des motifs respiratoires, cardiovasculaires et neurovasculaires.

4. Impact respiratoire

Une étude sur les consultations aux urgences pour motif respiratoire a été réalisée à Pise (Urban Air Pollution and Emergency Visits for Respiratory Complaints in Pisa). (16) Elle a été publiée en 2007 dans « Journal of Toxicology and Environmental Health ».

L'analyse se focalisait sur les admissions pour motifs respiratoires (toux, crise d'asthme, bronchite aigüe, toux sèche) à l'exception de la dyspnée. Les personnes âgées présentaient tous les symptômes de manière équilibrée contrairement aux enfants qui présentaient principalement une toux.

Lorsque le taux de PM₁₀ augmentait de 10µg/m³, le lendemain les admissions pédiatriques aux urgences pour motif respiratoire augmentaient de 10% (95% IC: 2.3; 18.2). Lorsque le NO₂ augmentait de 10µg/m³, deux jours plus tard les admissions aux urgences pédiatriques pour motif respiratoire augmentaient de 11.8% (95% IC:1.4; 23.3).

Concernant les personnes âgées les consultations augmentaient de 8.5% (95% IC: 1.5; 16.1) lorsque les PM₁₀ avaient augmenté de 10µg/m³ dans les 2 jours précédents.

Une étude ciblant les admissions pour pathologies respiratoires et cardiovasculaires a été réalisée à Atlanta. L'analyse des répercussions respiratoires se base sur plus de 4 millions d'admissions aux urgences entre 1993 et 2000. (17)

Le nombre de consultations pour infection respiratoire haute (60% des admissions pour motif respiratoire) augmentait de 1 à 3% pour une augmentation d'un écart type du polluant (modèle uni-polluant avec O₃, NO₂, PM₁₀ et CO), en revanche pas d'impact significatif concernant le SO₂.

Les admissions pour BPCO (Broncho Pneumopathie Chronique Obstructive) étaient influencées de manière significative par le NO₂ (3.5% d'augmentation pour une augmentation d'un écart type) et le CO (2.6%). Concernant les autres polluants (PM₁₀, O₃, SO₂ et PM_{2,5}) une augmentation non significative était observée. L'impact semblait plus important en saison froide mais les résultats n'étaient pas significatifs. Pour l'asthme l'impact était globalement faible pour tous les polluants mais il était plus important dans la tranche d'âge 2-18 ans. Les résultats retrouvaient une tendance à un retentissement plus important sur la saison chaude.

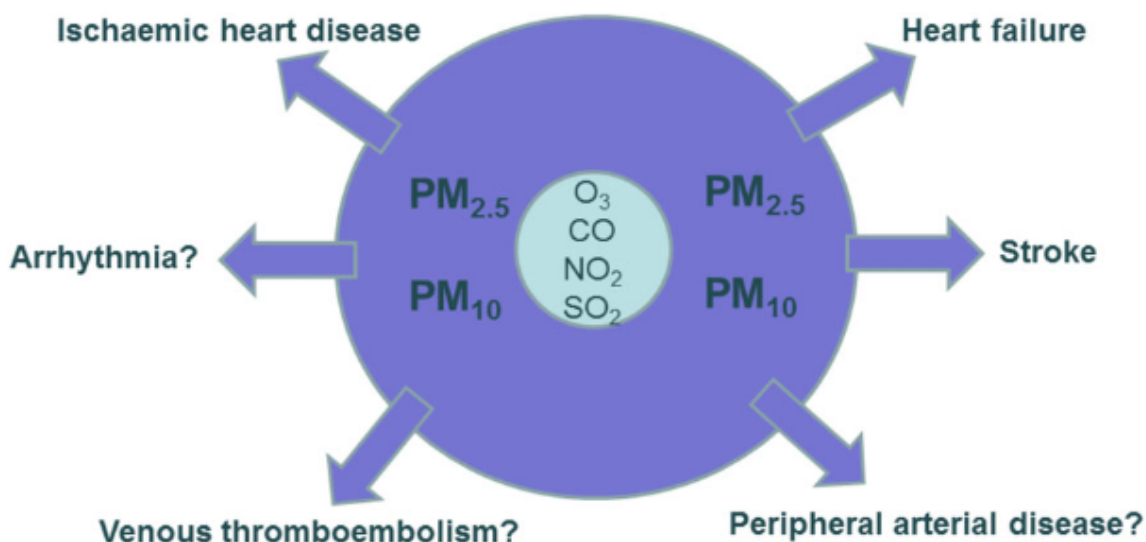
Cette étude retrouve un impact de la pollution atmosphérique sur les admissions aux urgences jusqu'à 13 jours après l'exposition.

Dans de nombreuses études on retrouve un retentissement de la pollution à l'Ozone au niveau respiratoire. L'ozone étant un polluant secondaire il est rarement présent seul dans l'atmosphère, on retrouve également ses précurseurs. L'impact mesuré est alors celui d'un mélange de polluants avec un polluant majoritaire qui est l'Ozone.

5. Impact cardiovasculaire

Plusieurs programmes ont mis en évidence un lien entre l'exposition chronique à la pollution atmosphérique et les pathologies cardio-vasculaires (le projet ESCAPE en Europe). Un rapport d'experts de la société européenne de cardiologie a repris plusieurs études sur le lien entre les pathologies cardiovasculaires et la pollution atmosphérique afin d'en préciser les mécanismes. (14) Ce rapport, basé sur plusieurs études internationales établit un lien certain entre la pollution atmosphérique et les infarctus du myocarde, les maladies cardiaques ischémiques et les accidents vasculaires cérébraux (AVC). Ils établissent un lien robuste entre la pollution atmosphérique et la formation de plaques d'athérome probablement à l'origine d'ischémie artérielle. L'impact cardiovasculaire de la pollution atmosphérique semble multifactoriel par formation d'athérome, vasoconstriction, augmentation de la pression artérielle, augmentation de la coagulation, inflammation.

Le rapport d'experts conclut qu'il est évident de considérer la pollution atmosphérique comme un facteur de risque cardio-vasculaire modifiable. Ce facteur de risque ne doit pas être considéré comme additif mais comme potentialisant les autres facteurs de risque cardiovasculaires (diabète, hypertension artérielle, obésité, antécédents familiaux, tabac...).



Established and unsettled clinical outcomes related to air pollution (gaseous and particulate).

Source : Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease. Eur Heart J. (14)

Une méta-analyse publiée dans le LANCET retrouve une association significative entre la pollution atmosphérique et la mortalité cardiovasculaire. (19) L'augmentation des taux de polluants atmosphériques (CO, SO₂, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) entraîne une augmentation

significative des hospitalisations et décès d'origine cardiaque. L'association la plus forte est observée le jour de l'exposition.

Les particules ultra fines semblent avoir un impact plus important avec une augmentation de 2.12% {IC95%:1.42-2.82} des hospitalisations et décès d'origine cardiaques pour une augmentation de 10µg/m³ de PM_{2.5} alors qu'on observe une augmentation de 1.63%{ IC95%: 1.20-2.07} pour 10µg/m³ de PM₁₀.

Dans la continuité du programme PSAS9, une étude réalisée par l'InVS entre 2007 et 2010 dans 17 villes françaises retrouve un impact à court terme des PM₁₀ sur la mortalité même sous le seuil de 40µg/m³. (20) Une augmentation de 10 µg/m³ de PM₁₀ aux lag 0-1 et 2-5 se traduit par une augmentation de 0,51% de la mortalité non accidentelle (IC 95%: [0,08-0,94]) et jusqu'à +3.00% (IC95% : [0.28-5.79]) aux lag 0-1 et 2-5 pour la mortalité spécifique cardiovasculaire durant l'été. L'impact était plus important au-delà de 74 ans.

Extrapol a réalisé une analyse d'articles à partir de l'étude «Ambient air pollution and cardiovascular emergency department visits » de Peel JL publiée dans Epidemiology 2004. (21)

Cette analyse met en corrélation les différentes études uni-polluant avec les différentes pathologies cardiovasculaires. Le tableau ci-dessous met en évidence l'impact cardiovasculaire pour le CO, le NO₂ et les PM_{2.5}. Cet impact n'est pas constant et varie selon les études mais il existe pour les différentes pathologies cardio-vasculaires étudiées.

Associations positives et statistiquement significatives entre pathologies cardio-vasculaires et augmentation d'un écart-type des concentrations de polluants, avec les modèles uni-polluant.

Pathologie	CO	NO ₂	Hydrocarbures oxygénés	Carbone sur la fraction PM _{2,5}	PM _{2,5} (en masse)
Toutes pathologies cardio-vasculaires	+*	+*	+	+ (O et E)	+*
Atteintes vasculaires périphériques et cérébro-vasculaires	+	+	N.S.	N.S.	+
Insuffisance cardiaque congestive	N.S.*	N.S.*	N.S.	+ (O et E)	+*
Cardiopathie ischémique	N.S.*	+*	N.S.	+ (O)	N.S.*

O : carbone organique ; E : carbone élémentaire ; * : associations observées dans de précédentes études de séries temporelles ; + : association positive et statistiquement significative ; N.S. : association non significative

Lorsque les effectifs sont faibles (<5 admissions par jour par pathologie) les résultats sont en général aléatoires. Aux urgences de Sallanches le nombre moyen d'admissions cardiovasculaires par jour est faible.

6. Impact neurovasculaire

Une étude récente publiée le 9 juin 2016 dans le Lancet (Global burden of stroke and risk factors in 188 countries, during 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013) met en évidence l'impact majeur de la pollution atmosphérique sur les Accidents Vasculaires Cérébraux (AVC).(22)

Cette étude a été menée dans 188 pays entre 1990 et 2013 par une méta régression (DisMod-MR). Dix-sept facteurs de risque ont été pris en compte parmi lesquels l'âge, le sexe, l'activité physique, l'IMC, le tabagisme, proportion de fibres dans l'alimentation, consommation d'alcool, pression systolique élevée...

Ces résultats suggèrent que 90.5% (IC95% : 88.5–92.2) des AVC seraient dus à des facteurs de risque modifiables combinés (dont la pollution atmosphérique et la pollution de l'air intérieur). Pour la première fois la pollution apparait comme étant un des principaux facteurs de risque modifiable et associé d'AVC. La pollution de l'air serait impliquée dans 29.3% (95% IC :28.2–29.6) des AVC.

Selon eux, 50% des AVC pourraient être évités avec une bonne prévention des facteurs de risque modifiables. Ces facteurs de risque varient selon les pays.

Cette étude ne différencie pas l'impact à cours, moyen ou long terme.

Risk factor	Rank																						
	Global	High-income Asia Pacific	Western Europe	Australasia	High-income North America	Central Europe	Southern Latin America	Eastern Europe	East Asia	Tropical Latin America	Central Latin America	Southeast Asia	Central Asia	Andean Latin America	North Africa and Middle East	Caribbean	South Asia	Oceania	Southern sub-Saharan Africa	Eastern sub-Saharan Africa	Central sub-Saharan Africa	Western sub-Saharan Africa	
High systolic blood pressure	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Diet low in fruits	2	2	4	4	3	4	4	3	2	3	4	2	2	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2
High body-mass index	3	6	2	2	2	2	2	2	6	2	2	6	3	2	2	2	8	2	3	5	5	4	4
Diet high in sodium	4	3	6	10	6	3	8	6	3	4	8	8	4	7	4	12	5	13	7	9	11	8	8
Smoking	5	4	5	5	5	6	5	5	4	6	6	4	6	6	8	5	7	5	5	8	10	12	12
Diet low in vegetables	6	5	3	3	4	5	3	4	11	5	3	3	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5
Ambient particulate matter (2.5 µm) pollution	7	8	11	14	12	8	12	10	5	9	9	9	8	9	6	11	6	15	11	12	6	6	
Household air pollution from solid fuels	8	..	..	..	..	..	15	..	7	14	12	5	12	11	14	7	3	6	8	3	3	3	
Diet low in whole grains	9	7	9	8	9	7	6	7	8	7	5	7	7	5	7	6	10	7	10	10	7	9	11
High fasting plasma glucose	10	10	10	9	7	11	7	9	9	8	7	10	9	10	9	10	9	8	9	11	8	11	11
Low physical activity	11	9	8	6	8	10	11	11	13	11	13	11	13	12	10	8	12	9	13	14	12	10	10
Low glomerular filtration rate	12	12	7	7	13	9	10	12	14	10	10	14	10	8	11	9	11	12	6	7	9	7	7
Alcohol use	13	11	12	11	10	12	9	8	12	12	11	15	11	14	16	15	15	11	12	13	14	14	14
Lead exposure	14	14	14	13	15	14	16	15	10	15	16	12	14	15	13	13	13	14	14	6	13	13	13
High total cholesterol	15	13	13	12	11	13	13	13	16	13	14	13	15	13	12	14	14	10	15	15	15	15	15
Second-hand smoke	16	15	15	15	16	15	14	14	15	16	17	16	16	17	15	17	16	16	16	16	16	16	16
Diet high in sugar-sweetened beverages	17	16	16	16	14	16	17	16	17	17	15	17	17	16	17	16	17	17	17	17	17	17	17

Top risk factors ranked by number of DALYs attributable to stroke for both sexes combined in 21 regions in 2013

For the list of countries included within these regions, please see the appendix (pp 1–2). DALY=disability-adjusted life-year.

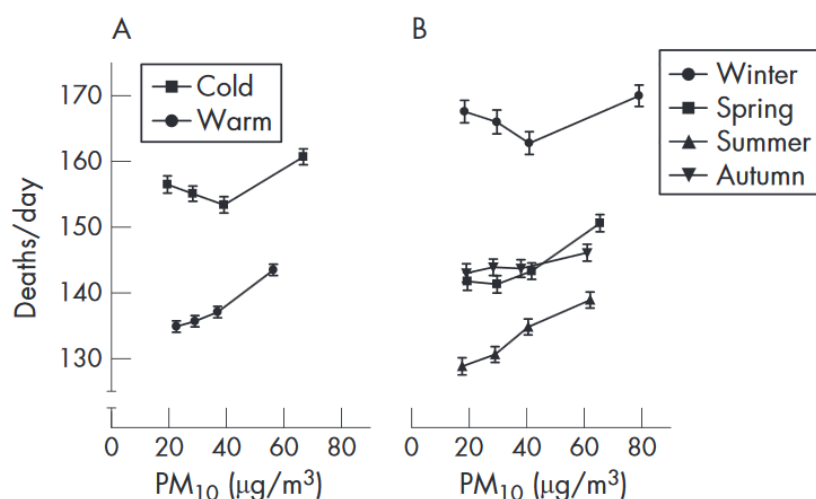
Tableau issu de Global burden of stroke and risk factors in 188 countries, during 1990–2013: systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013.

7. Facteurs influençant l'impact de la pollution atmosphérique

a) La température

Les effets de la température sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique varient en fonction du climat où est réalisé l'étude. Celles réalisées en France et en Europe sont alors les plus représentatives de ces liens.

Une étude a été réalisée entre 1997 et 2003 sur les relations entre la mortalité, la pollution atmosphérique (PM₁₀) et les conditions météorologiques. L'impact de la pollution atmosphérique était fortement dépendant de la météorologie. (39) Cette étude a été réalisée dans la même zone climatique (dans le Nord de la France et la Belgique).



Total daily non-traumatic mortality (means (standard error)) in Flanders (1997–2003) plotted against quartiles of small particulate air pollution (PM₁₀), stratified according to (A) warm (April–September) and cold (October–March) periods and (B) seasons (n=354 357).

La mortalité globale était plus importante en hiver. L'impact à court terme de la pollution atmosphérique variait en fonction des conditions météorologiques. Cette différence persistait après ajustement sur les conditions météorologiques. En période froide la relation pollution/ mortalité était non linéaire, la pollution atmosphérique avait un impact significatif pour des taux de polluants élevés. Alors qu'en période plus chaude (principalement en été) la relation PM₁₀/ mortalité était quasi linéaire avec un impact pour des taux plus faibles (p<0.001).

Une étude réalisée dans le cadre du programme PSAS9 retrouvait également un effet plus important des polluants, en particulier des PM₁₀, pendant l'été, pour la mortalité totale et les causes cardiaques. (40) Cette étude suggère un impact plus important des pics de pollution en France avec le réchauffement climatique.

La canicule de 2003 a marqué les esprits mettant en évidence une augmentation importante de la mortalité lors de pics de chaleur (15 000 décès supplémentaires en France).

b) L'âge

Les effets sur la santé se produisent à tous les stades de la vie du début de la vie intra-utérine à la fin de la vie.

Les effets de la pollution atmosphérique dépendent de facteurs individuels : fragilités et comorbidités personnelles, stade de la vie au moment de l'exposition, durée d'exposition et volume inhalé. Par exemple les enfants sont en général plus exposés car ils ont une fréquence respiratoire plus élevée que les adultes, une surface pulmonaire par kilogramme de poids plus grande. Ils passent plus de temps à l'extérieur et ont une activité physique plus importante. (31) De plus les poumons et le système immunitaire ne sont pas encore matures les rendant plus sensibles aux polluants.

Plusieurs études retrouvent un impact plus important de la pollution atmosphérique au-delà de 65 ans. L'étude APHEA partie 2 était basée sur les admissions aux urgences et concernait 28 villes européennes. Le risque de décès était plus élevé chez les plus de 65 ans comparé à la population générale. Ce risque augmentait de 0.6% (IC 95% : 0.5–0.8%) suite à une augmentation de 10µg/m³ de « black smoke » (fumées noires). (36)

Cette étude met en évidence une sensibilité plus importante des personnes âgées à la pollution atmosphérique.

c) Le sexe

Certaines études retrouvent des effets différents selon le sexe. Une étude canadienne retrouvait initialement une différence avec un impact plus important chez les femmes. Mais après ajustement sur le terrain (allergies, pathologies auto-immunes) et l'exposition (basée sur le lieu de résidence) cette différence homme/femme disparaît. (32) Cette étude suggère que les femmes paraissent plus sensibles à la pollution à cause d'une part auto-immune plus importante chez elles. Une autre étude réalisée à Paris dans le cadre du programme ERPURS retrouvait un résultat différent avec une sensibilité à la pollution cette fois plus importante chez les hommes. (33) Ce résultat discordant était en partie expliqué par le fait que les hommes étaient plus exposés par leur travail et leurs activités de loisirs à la pollution atmosphérique.

Ces exemples d'études contradictoires illustrent bien la problématique des conséquences individuelles de la pollution atmosphérique (terrains différents, expositions différentes).

d) Les facteurs socio-économiques

L'impact aigu est d'autant plus important qu'il existe une fragilité sous-jacente. Les facteurs sociaux-économiques individuels n'ont pas d'impact direct sur les effets de la pollution mais peuvent avoir un effet indirect. Ils entraînent des variations de statut nutritionnel, de l'état de santé sous-jacent et influencent surtout l'exposition à la pollution de l'air intérieur.

8. Les séries temporelles

Pour analyser le lien entre les variations des taux de polluants atmosphériques dans la vallée de l'Arve et les admissions aux urgences de l'Hôpital de Sallanches les séries temporelles semblent le plus adaptées. La modélisation des liens à court terme entre pollution atmosphérique et santé a été utilisée dans plusieurs études durant ces vingt dernières années permettant d'établir une méthodologie précise. (42)

a) Asthme et qualité de l'air durant les jeux olympiques d'Atlanta

Cet article "Impact of Changes in Transportation and Commuting Behaviors During the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on Air Quality and Childhood Asthma" illustre bien l'analyse par séries temporelles (23)

Durant les jeux olympiques d'Atlanta en 1996 des aménagements routiers ont été réalisés pour améliorer la fluidité du trafic. Les véhicules sont une source de pollution importante avec principalement production d'ozone et de polluants secondaires. La modification du trafic entraîne une variation des taux de polluants atmosphériques. L'indicateur sanitaire choisi est les consultations pour asthme des enfants de 1 à 16 ans habitant à proximité d'Atlanta. L'étude est réalisée sur 4 centres hospitaliers proches de la ville. Les consultations pour autres motifs ont été introduites dans le modèle pour avoir une référence. L'étude compare les 17 jours des jeux olympiques (aménagement routier spécifique) avec les 4 semaines avant et les 4 semaines après les jeux olympiques (trafic non aménagé). Des données météorologiques (température, vent, humidité, pression atmosphérique, radiations solaires) ont été introduites dans le modèle.

Durant la période des jeux olympiques les concentrations d'O₃ ont baissé de 27.9% (passant de 81.3ppb hors période JO à 58.6ppb en période JO p<0.001). Les consultations pédiatriques pour asthme ont baissé dans les 4 centres hospitaliers de l'agglomération :

- 41.6% (4.23 consultations par jour hors période JO, contre 2.47 durant la période JO)
au Georgia medicaid

- 44.1% (1.36 vs 0.17) health maintenance organisation

- 11.1% (4.77 vs 4.24) aux urgences pédiatriques départementales

- 19.1% (2.04 vs 1.65) au Georgia hospital discharge

Concernant les consultations pour autres motifs les variations étaient respectivement de -3.1%, +1.3%, -2.1% et +1.0%.

L'utilisation des séries temporelles permet de créer un modèle en intégrant différentes variables influençant de différentes manières le lien entre les taux de polluants atmosphérique et le critère d'impact sanitaire choisi. Une fois le modèle établi on peut étudier de manière plus spécifique l'impact de la variation d'un polluant atmosphérique sur l'évènement sanitaire choisi.

b) ERPURS

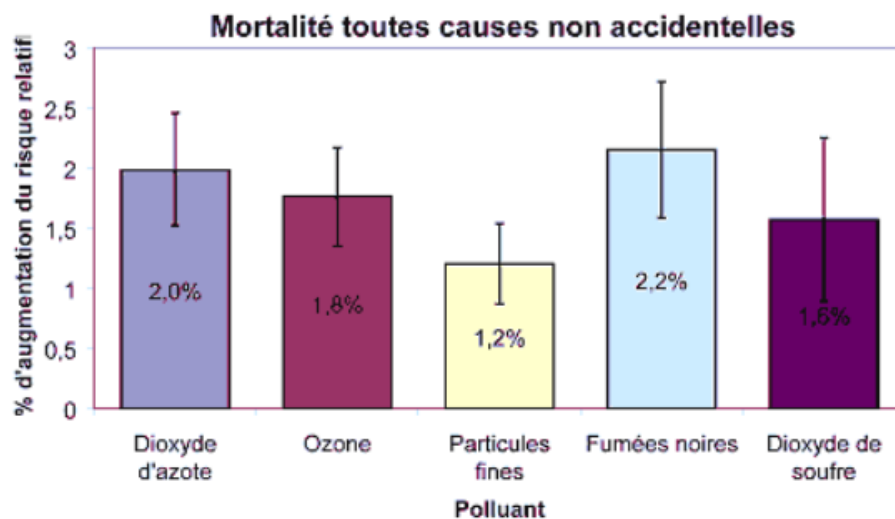
L'étude ERPURS (Évaluation des Risques de la Pollution Urbaine pour la Santé en Île-de-France) a utilisé une méthode de type séries temporelles pour mettre en évidence un lien entre plusieurs indicateurs et la pollution atmosphérique entre 1987 et 1992. Ce programme a été mis en place en 1990 en Ile de France suite aux importants épisodes de pollution de l'hiver 1989. Ce programme avait pour objectif de quantifier les liens à court terme entre la pollution atmosphérique et la santé de la population à Paris et dans sa proche couronne. (24)

Cette série temporelle concernait les variations journalières d'indicateurs de qualité de l'air (concentration en polluants dans l'air ambiant) et d'indicateurs de santé (nombre journalier de décès, hospitalisations cardiovasculaires et respiratoires, visites de SOS-médecin, arrêts de travail).

Les premiers résultats publiés en 1994 retrouvent un excès de risque à environ 2 % d'augmentation du nombre de décès en lien avec une élévation de l'indice de fumée noire. Le programme ERPURS a participé à la mise en place de la loi LAURE en 1996.

Les derniers résultats de l'étude retrouvent un impact à court terme plus important :

Pourcentages d'augmentation du risque relatif de mortalité lorsque l'on passe d'un niveau de polluant de base (5^{ème} percentile) à un niveau médian. La barre verticale représente l'intervalle de confiance à 95%.



(25)

L'analyse des données entre 1987 et 1998 retrouve des augmentations pouvant aller (en comparaison aux jours les moins pollués de l'année) jusqu'à 4,7% pour la mortalité due à des causes respiratoires, en rapport avec les particules fines, et 2,4% pour la mortalité relative aux pathologies cardio-vasculaires, en rapport avec les particules fines. (25)

c) PSAS9

Le programme PSAS9 (Programme de Surveillance Air et Santé) est dans la continuité du programme ERPURS, il est déployé sur 8 autres villes, soit 9 grandes villes françaises (Bordeaux, Le Havre, Lille, Lyon, Marseille, Paris, Rouen, Strasbourg, Toulouse) faisant évoluer le programme ERPURS régional vers une étude multicentrique.

Ce programme a été mis en place en 1997 pour quantifier, les relations entre des indicateurs de pollution atmosphérique et des indicateurs de santé.

Ce programme utilise l'approche des séries temporelles permettant une prise en compte des cofacteurs (épidémiologie, pollen, paramètres météorologiques...) pouvant biaiser l'étude des relations entre la pollution atmosphérique et la santé. (26)

Les résultats varient selon l'indicateur de pollution (Phase II) :

-Concernant les indicateurs d'admissions hospitalières pour pathologies cardio-vasculaires, les excès de risque sont compris entre 0 et 1,0 % pour l'exposition 0-1 jour et entre 0,3 et 1,4 % pour l'exposition 0-5 jours.

- Concernant les indicateurs d'admissions hospitalières pour pathologies respiratoires, les excès de risque sont compris entre 0 et 1,8 % pour l'exposition 0-1 jour et entre 0 et 3,7 % pour l'exposition 0-5 jours.

- Concernant la mortalité, pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}) du niveau de pollution, les excès de risque sont compris entre 0,5 et 1,3 % lorsqu'on considère l'exposition 0-1 jour, et entre 1,1 et 5,1 % lorsqu'on considère l'exposition 0-5 jours.

d) Impact à court terme des particules fines sur les admissions hospitalières aux Etats-Unis

Dans cet article “Seasonal and Regional Short-term Effects of Fine Particles on Hospital Admissions in 202 US Counties, 1999–2005”, M. BELL utilise les séries temporelles pour étudier l’impact à court terme de la pollution atmosphérique. (27)

M.BELL a utilisé les séries temporelles dans plusieurs études d’impact à court terme permettant de préciser les techniques de modélisation. Le modèle utilisé pour cette étude se base sur le modèle créé pour l’étude de l’impact à court terme des particules fines sur les admissions hospitalières aux USA entre 1999 et 2005 (27)

Le modèle créé pour cette étude est le suivant :

$$\ln(E[h_t^c]) = \beta^c x_{t-l}^c + \alpha^c DOW_t + ns(T_t^c, df_T) + ns(D_t^c, df_D) + ns(Ta_t^c, df_{Ta}) + ns(Da_t^c, df_{Da}) + ns(t, df_t) + A_t ns(t, df_{A_t}) + \ln(N_t^c),$$

h_t^c = hospitalization rate in county c , day t
 β^c = regression coefficient relating $PM_{2.5}$ to hospitalization rates in county c
 x_{t-l}^c = $PM_{2.5}$ level in county c , day t , at lag of l days (e.g., $l = 0$ is the same day)
 α^c = regression coefficient relating day of the week to hospitalization rates in county c
 DOW_t = day of the week on day t
 $ns(T_t^c, df_T)$ = natural cubic spline of temperature in county c , day t with df_T (six) degrees of freedom
 $ns(D_t^c, df_D)$ = natural cubic spline of dew point temperature in county c , day t with df_D (three) degrees of freedom
 $ns(Ta_t^c, df_{Ta})$ = natural cubic spline with df_{Ta} (six) degrees of freedom for the average of the 3 previous days’ temperature in county c , day t , adjusted for current day temperature and dew point temperature
 $ns(Da_t^c, df_{Da})$ = natural cubic spline with df_{Da} (three) degrees of freedom for the average of the 3 previous days’ dew point temperature in county c , day t , adjusted for current day temperature and dew point temperature
 $ns(t, df_t)$ = natural cubic spline of time with df_t (eight/year) degrees of freedom
 $ns(t, df_{A_t})$ = natural cubic spline of time with df_{A_t} (one/year) degrees of freedom

Ce modèle intègre les variations journalières (DOW), les variations météorologiques, le jour même et les trois jours précédents.

Il permet d’étudier les variations de $PM_{2.5}$ au long de l’année avec les variations saisonnières.

L’impact des $PM_{2.5}$ sur les pathologies respiratoires et cardiovasculaires est plus important durant la saison hivernale. Une augmentation de $10\mu g/m^3$ de $PM_{2.5}$ entraîne une augmentation des hospitalisations le jour même de 1.05% (IC95% : 0.29 ; 1.82) pour problèmes respiratoires et de 1.49% (IC 95% : 1.09 ; 1.89) pour problèmes cardiovasculaires.

Les auteurs expliquent ces différences de plusieurs manières: source de polluant différentes, notamment une consommation énergétique accrue avec le chauffage, impact de l’air intérieur lié à une moindre ouverture des fenêtres en saison froide.

e) Arkansas : admissions aux urgences pour motif respiratoire et cardio-vasculaire

« Air pollution and cardiovascular and respiratory emergency visits in Central Arkansas: A time-series analysis ». L'Arkansas a un taux de maladies cardiovasculaires très élevé par rapport au reste des Etats-Unis.

Pour évaluer l'impact à court terme de la pollution atmosphérique, cette étude de type séries temporelles utilise comme critère d'impact sanitaire les admissions aux urgences pour motif respiratoire et cardiovasculaire. Elle a été réalisée sur une période de 10 ans (entre 2002 et 2012) et concerne l'O₃ et les PM_{2.5}. Les données secondaires prises en compte sont : la saison, la météorologie, l'âge, le sexe, l'origine ethnique. Des analyses bi-polluants ont été réalisées. Comme dans l'étude précédente l'impact de la pollution atmosphérique est plus important durant la saison froide.

Pendant la période froide une augmentation de 10µg/m³ de PM_{2.5} entraîne une augmentation des admissions aux urgences de 1.52% [IC95% : -1.10%, 4.20%] pour motif cardiovasculaire et de 1.45% [IC95%: -2.64%, 5.72%] pour motif respiratoire. Une augmentation d'O₃ de 10ppb (partie par milliard) entraîne une augmentation des admissions aux urgences de 0.93% [IC95%: -0.87%, 2.76%] pour motif cardiovasculaire et de 0.76% [IC95%: -1.92%, 3.52%] pour motif respiratoire.

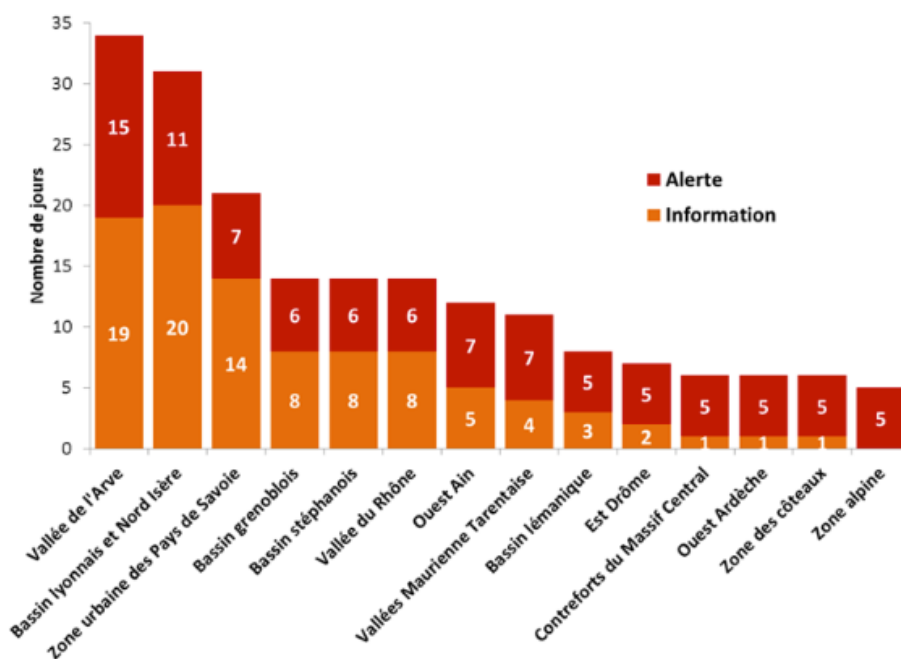
Malgré l'absence de résultats significatifs cette étude illustre bien l'intégration des données secondaires.

D. Problématique de la vallée de l'Arve

La vallée de l'Arve fait l'objet d'un Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA 16/02/2012) suite à de nombreux dépassements des normes en vigueur (PM₁₀, benzo(a)pyrène, dioxyde d'azote, ozone). Ce PPA concerne 41 communes, soit 154 034 personnes (source INSEE recensement 2007) sur 1 032 km². Les sujets les plus sensibles sont les enfants de moins de 6 ans (12 074 sur le territoire) et les personnes de plus de 75 ans (8 926 sur le territoire).

La vallée est la zone de la région Rhône-Alpes où le dispositif préfectoral est le plus souvent activé pour dépassements des seuils d'alerte et d'information.

La mise en place du dispositif d'alerte concerne principalement les dépassements de seuil pour les PM₁₀.

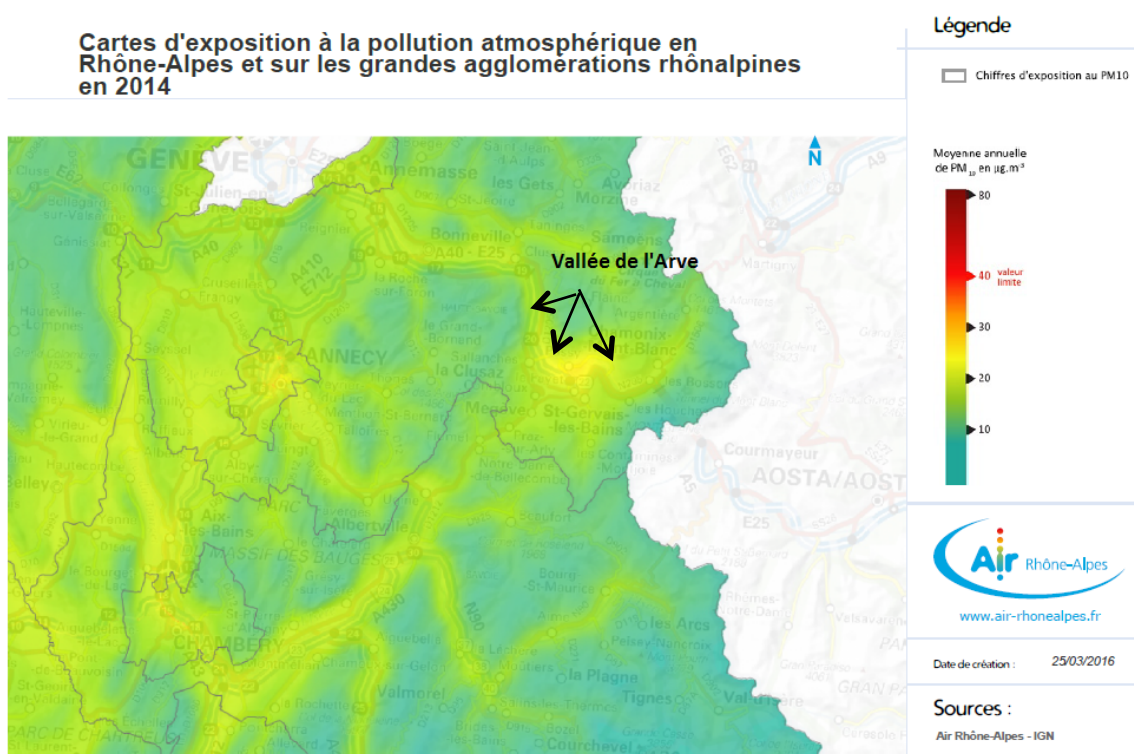


Nombre de jours de mise en place du dispositif préfectoral d'alerte ou d'information en 2014.
Source Air Rhône alpes

1. Topographie

La vallée de l'Arve regroupe plusieurs massifs (Aiguilles Rouges, Aravis, Mont Blanc, Bargy). Elle comporte plusieurs « goulots d'étranglement » (Cluses, Servoz, col des Montets). Cette topographie particulière limite fortement les phénomènes de dispersion des polluants. Le principal verrou géographique se situant au niveau de Servoz.

Cette carte d'exposition à la pollution atmosphérique (traceur: PM_{10}) illustre bien la topographie de la vallée avec une accumulation de polluants.



2. Météorologie

La qualité de l'air est étroitement liée aux conditions météorologiques. Les températures élevées et l'ensoleillement favorisent les processus photochimiques entraînant la production d'Ozone. Le froid altère les phénomènes de combustion automobile et entraîne une augmentation des rejets.

La dispersion des polluants est plus facile lorsque l'atmosphère est instable (par augmentation des mouvements verticaux). Les précipitations sont généralement associées à une atmosphère instable, ce qui permet une bonne dispersion de la pollution atmosphérique. Par ailleurs, elles entraînent au sol les polluants les plus lourds. Lors de précipitations, l'eau qui tombe va interagir avec les polluants atmosphériques et ainsi les transformer ou les déposer au sol. Certains polluants atmosphériques tels que les oxydes de soufre et les oxydes d'azote sont précipités au sol avec la pluie ce qui crée les pluies acides.

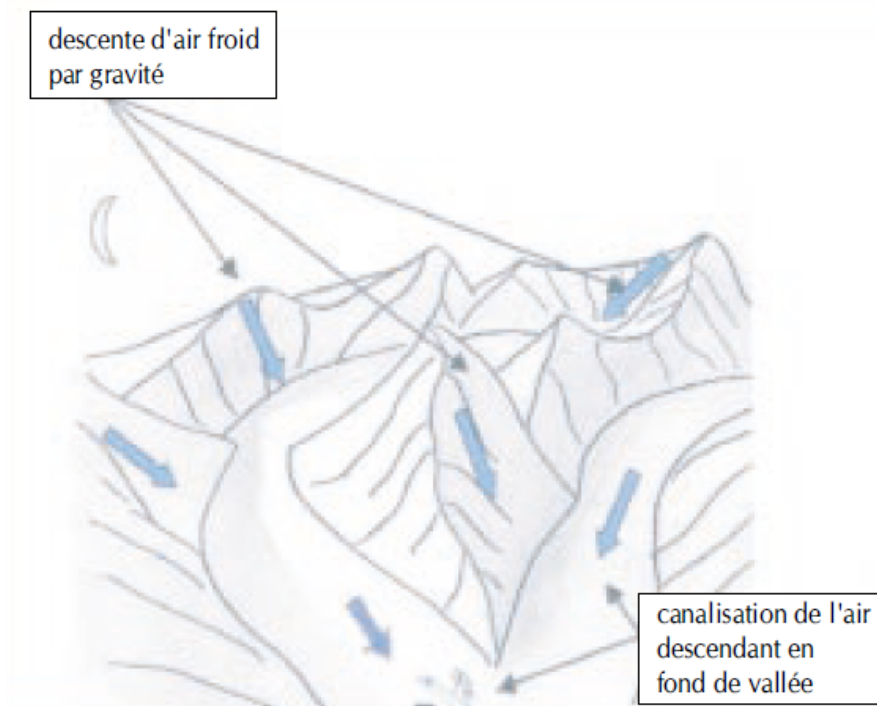
En hiver, les conditions anticycloniques produisent des inversions de températures qui limitent les flux d'air verticaux. Ce sont des couches d'atmosphère où le gradient thermique s'inverse (le sol est plus froid que l'air, l'air en contact avec le sol se refroidit plus rapidement que celui à distance). Ce phénomène se produit principalement la nuit et en absence de vent. Avec le relief le vent a d'autant plus de mal à s'engouffrer dans la vallée. Ces phénomènes se produisent principalement en décembre/janvier dans la vallée. En vallée de l'Arve cette inversion se situe en général entre 800 et 1000 m d'altitude. Les polluants s'accumulent sous ce couvercle thermique.

Les brises thermiques se développent lorsque le vent en altitude est relativement faible avec un ciel bien dégagé, elles sont provoquées par la différence de température entre l'air directement en contact avec les pentes de montagne et l'atmosphère libre (à distance des pentes).

-brise Montante (vents anabatiques) : en journée, sur les pentes exposées au soleil, principalement le printemps et l'été. L'air s'échauffe au contact des pentes de montagne, il devient plus léger que l'air ambiant. Il monte, créant un courant qui aspire l'air du bas des pentes vers les sommets (appel d'air).

-brise descendante (vents catabatiques) : la nuit, l'air se refroidit au contact des pentes de montagne et descend vers le fond de vallée 10 à 20km/heure en moyenne (jusqu'à 40km/heure dans les goulots d'étranglement). Ces brises accentuent les phénomènes d'inversion thermique.

En régime de brise descendante les polluants se concentrent dans les vallées :

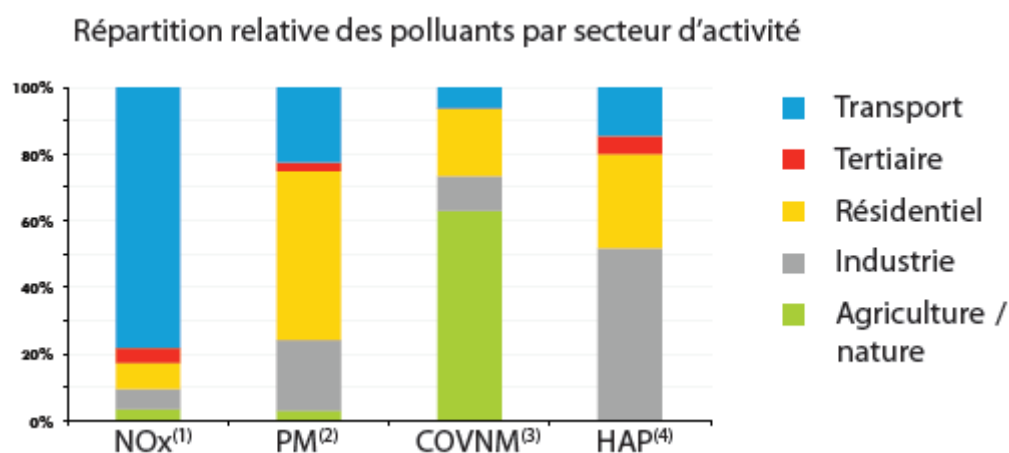


Source : observatoire savoyard de l'environnement/l'air de l'Ain et des pays de Savoie

3. Les sources de polluants

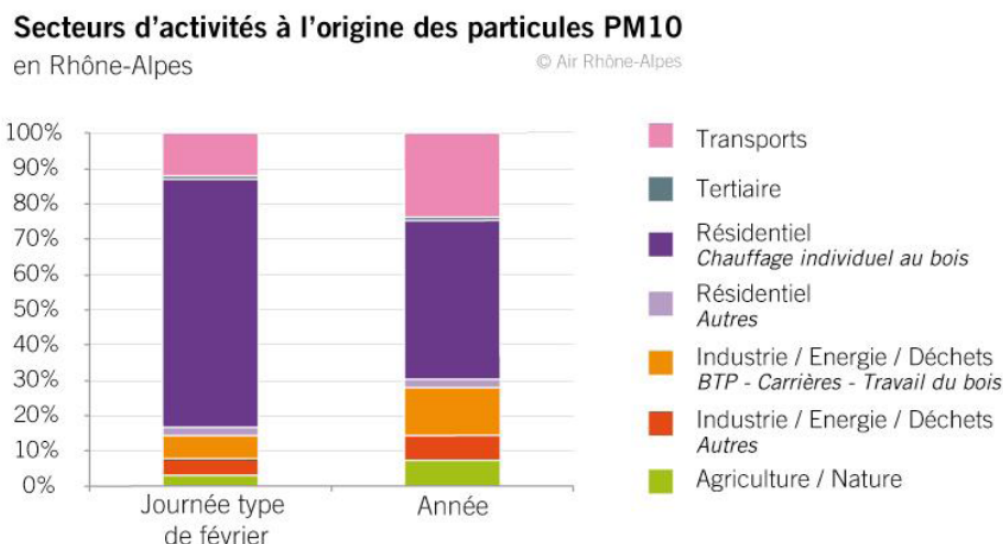
Un inventaire des émissions, soit un calcul théorique des flux de polluants émis dans l'atmosphère a été réalisé dans le PPA. Les sources principales sont différentes selon le polluant considéré et varient selon la période considérée. Les diagrammes suivant sont des estimations.

Variation des sources selon le polluant considéré:



Source : air Rhône alpes

Variation des sources selon la période considérée (exemple PM₁₀):

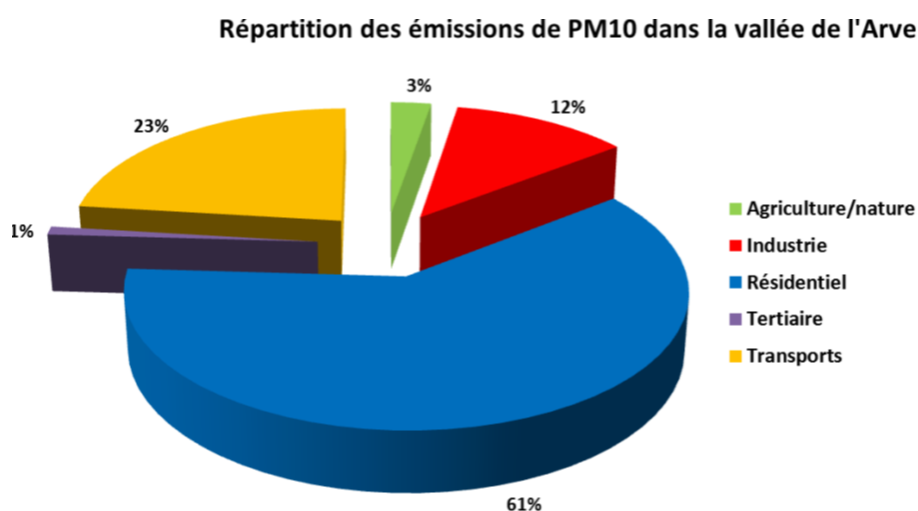


a) Sources d'émissions de particules

Dans la vallée de l'Arve, les sources sont principalement le secteur résidentiel et les transports. Elles varient selon le type de particule et selon la période de l'année. Sur le territoire du PPA environ 60% des logements sont des résidences principales et 40% de logements occasionnels/résidences secondaires. Le mode de chauffage varie en fonction du type de résidence et la fréquence d'allumage varie en fonction de la période et du taux d'occupation.

Selon les données nationales (INSEE) : 45% des résidences individuelles principales disposent d'un chauffage au bois mais il est le seul moyen de chauffage uniquement dans 10% des cas.

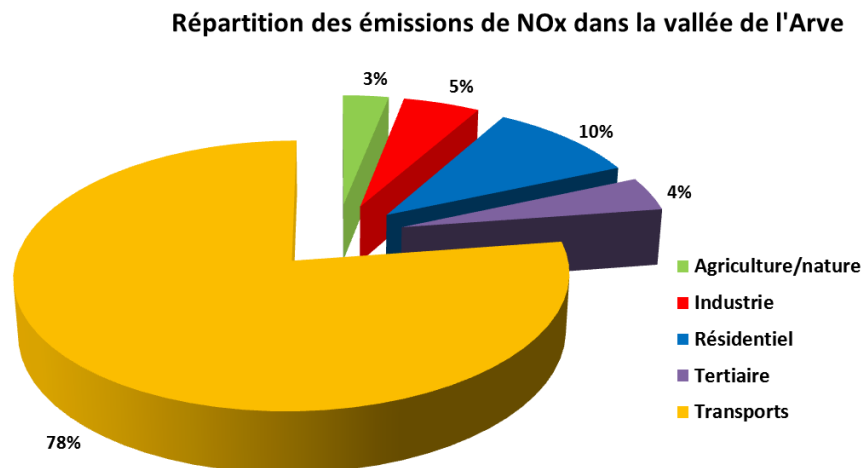
A Passy, depuis le début des mesures la valeur limite est systématiquement dépassée. Certains évènements entraînent une augmentation importante de la concentration en particule. C'est le cas des feux d'artifice qui engendrent un pic de pollution dans les nuits du 31 décembre au 1^{er} janvier.



Source : Air Rhône-Alpes 2014

b) Sources d'émission d'oxyde d'azote

Les taux de NOx sont plus élevés dans les communes de fond de vallée où passent les principaux axes routiers. La station de Chamonix-Les Bossons situées à proximité de la route Blanche (axe de liaison entre la France et l'Italie) enregistre des taux élevés de NO₂.



Source air Rhône-Alpes 2014

c) Sources de benzo(a)pyrène (HAP)

La valeur réglementaire est régulièrement dépassée dans la vallée de l'Arve. Les principales sources sont l'activité industrielle et le chauffage individuel au bois non performant.

La vallée de l'Arve, principalement en partie basse et moyenne concentre de nombreuses industries spécialisées dans le décolletage et la mécanique de précision. Ces activités induisent l'utilisation de nombreux solvants de dégraissage.

4. Variabilité annuelle

Dans la vallée de l'Arve on retrouve :

- une pollution de fond : taux moyen de polluants dans l'atmosphère, exposition continue, pollution chronique plus ou moins forte.

=>Impact sanitaire surtout à long terme.

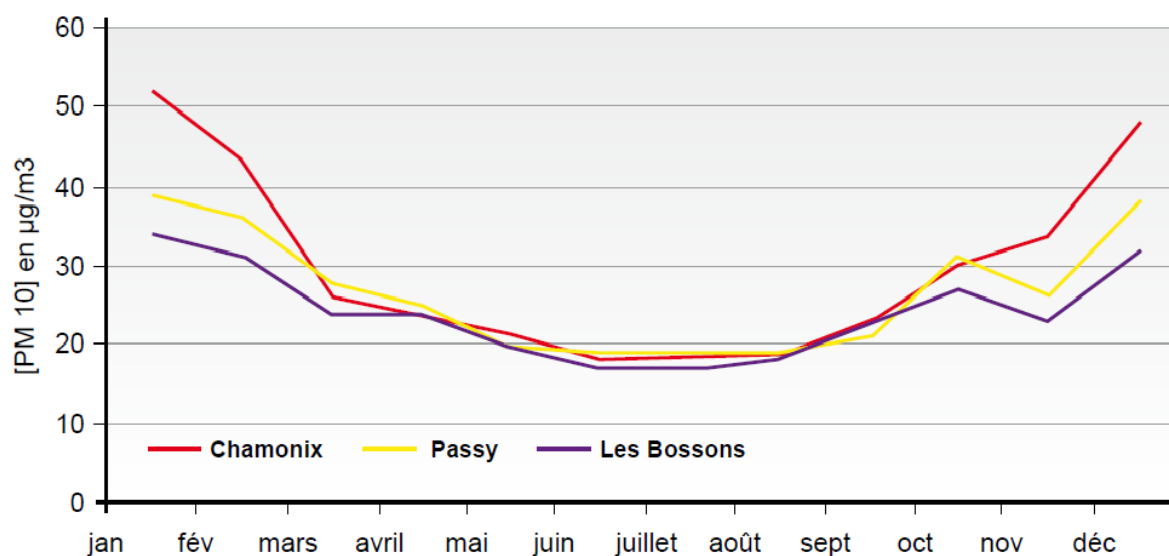
- une pollution de pics : concentration en polluants très élevée sur une période restreinte, exposition forte mais courte.

=>Impact sanitaire surtout à court terme.

L'accumulation des polluants se produit le plus souvent sur les périodes froides entraînant des pics de pollution avec dépassement des seuils réglementaires. Cette accumulation est secondaire à une production de polluants accrue associée à une réduction des phénomènes de dispersion.

Les pics de pollution se produisent principalement en hiver.

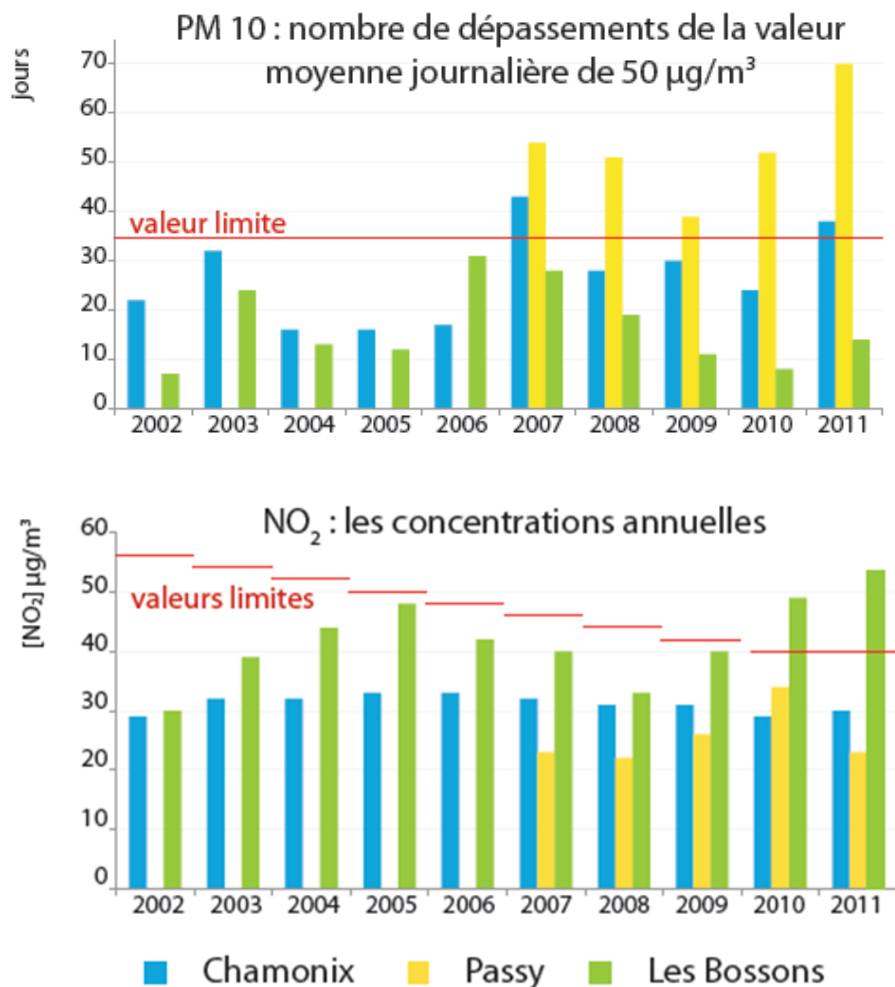
Exemple de profil annuel dans la vallée pour les PM₁₀ :



PM10 : les profils annuels

Source : Air Rhône-Alpes, 2014

Pour les PM₁₀, la valeur limite de 50µg/m³ en moyenne journalière ne doit pas être dépassée plus de 35 fois par an. Dans la vallée de l'Arve ces valeurs limites sont régulièrement dépassées.

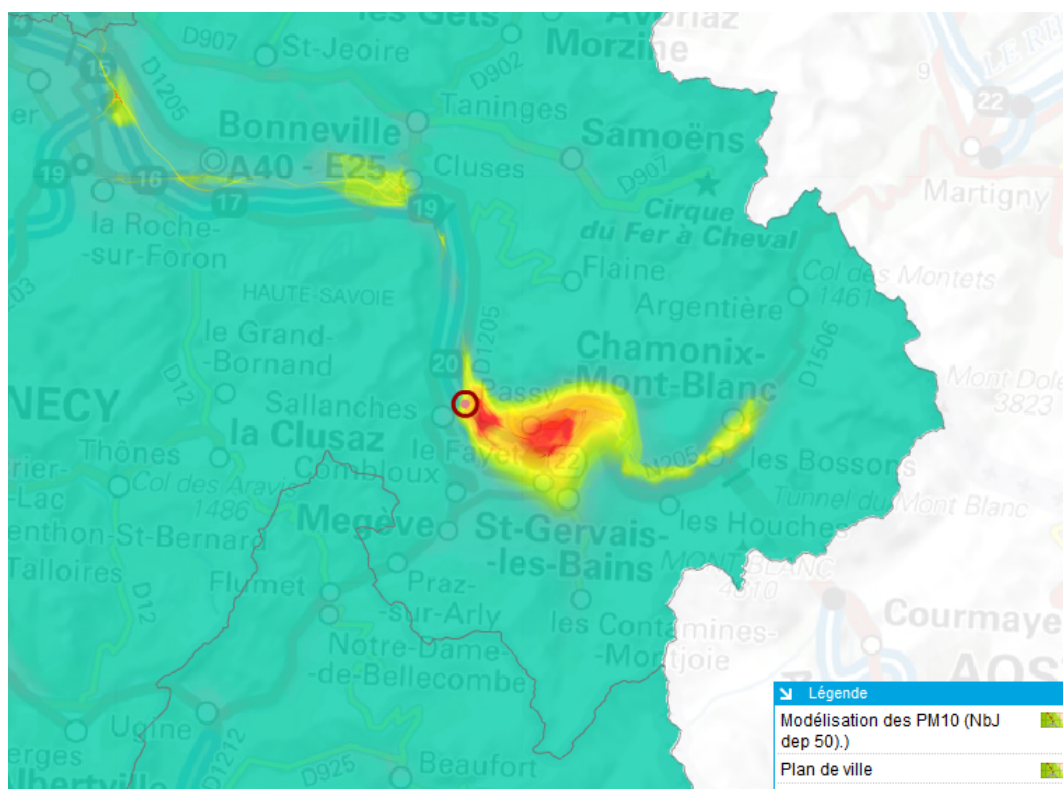


Source PPA vallée de l'Arve(28)

Les dépassements les plus importants pour les PM₁₀ sont retrouvés au niveau de la station de Passy et pour le NO₂ au niveau de la station de Chamonix-Les Bossons (à proximité des axes routiers). La valeur limite concernant le NO₂ a été progressivement abaissée pour atteindre 40µg/m³ en 2010.

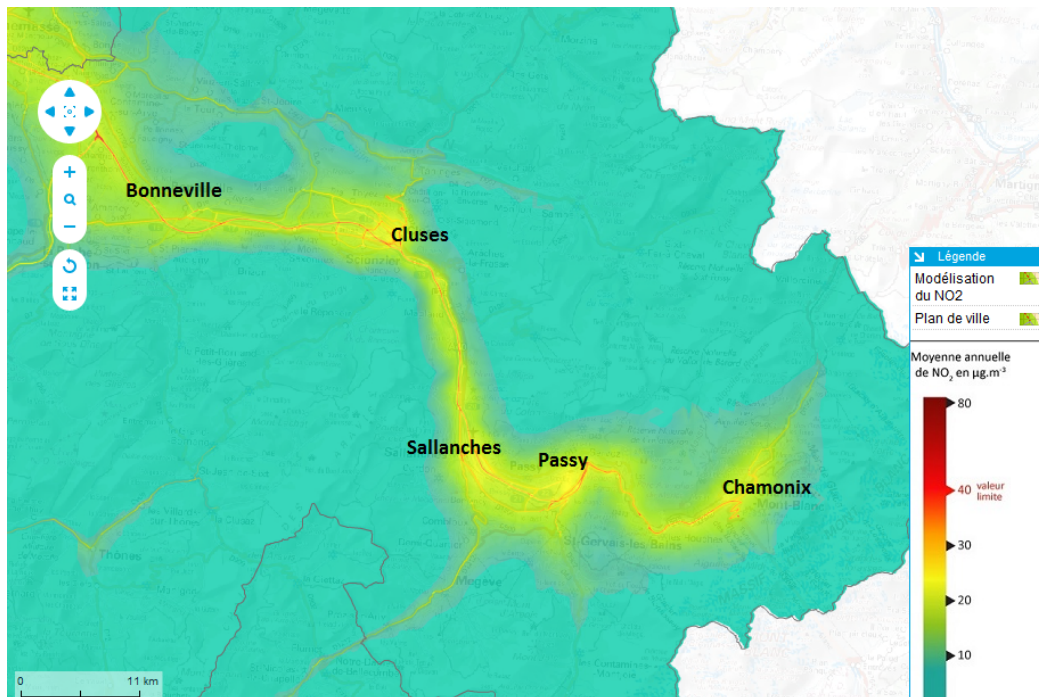
Les cartes suivantes illustrent la distribution spatiale des différents polluants dans la vallée.

La modélisation du nombre de jours de dépassement des concentrations limites concernant les **PM10** met en évidence l'accumulation au niveau de la vallée de l'Arve. (Le marquage correspond à la ville de Sallanches).



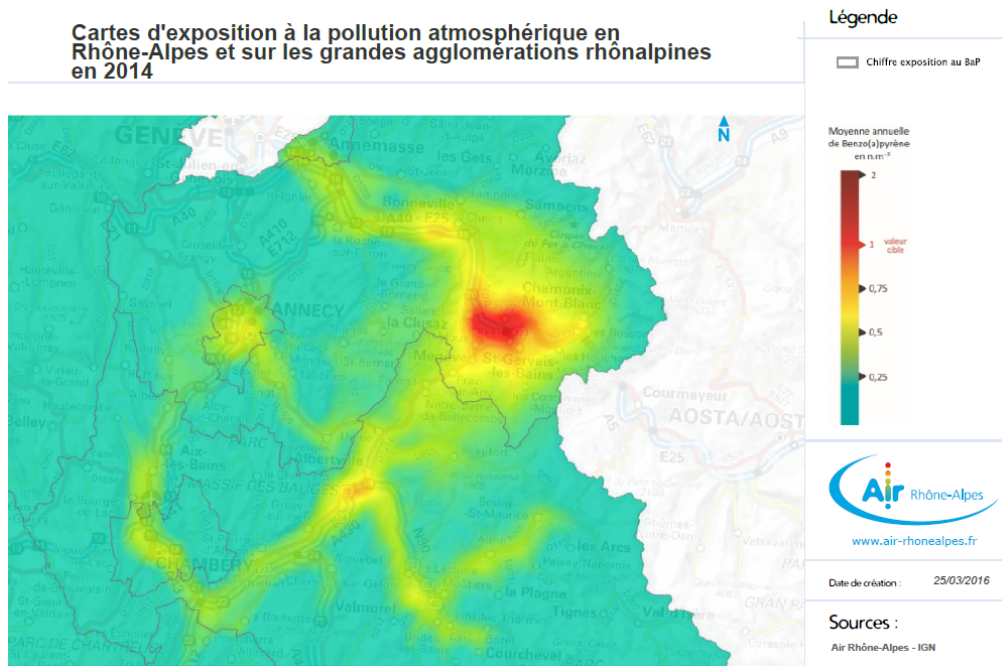
Source Air Rhône-Alpes. Carte d'exposition à la pollution atmosphérique en 2014. Jours de dépassements PM₁₀ : la concentration journalière de 50 µg/m³ ne doit pas être franchie plus de 35 jours par an.

La modélisation du **NO** en concentration annuelle moyenne retrouve également ce profil de distribution mais est plus étendu le long de la vallée.



Source Air Rhône-Alpes : NO₂ Valeur limite : concentration moyenne annuelle de 40 µg/m³ à ne pas dépasser

Le cas particulier de la vallée de l'Arve concerne le **Benzo(a)pyrène** avec des concentrations importantes :



III. Objectif

Les études nationales et internationales mettent en évidence un lien entre la pollution atmosphérique et la santé à court, moyen et long terme. Les relevés des niveaux de polluants réalisés dans la vallée de l'Arve dépassent régulièrement les taux fixés par l'OMS pour la santé humaine. L'impact à long terme est difficile à étudier et nécessite une population importante et une méthodologie spécifique pour mettre en évidence un lien statistique significatif.

Existe-t-il une corrélation entre les variations de pollution dans la vallée de l'Arve et les admissions aux urgences pour des pathologies reconnues par l'OMS comme étant influencée par la pollution atmosphérique ?

L'objectif de cette thèse est d'établir une méthodologie permettant d'analyser les liens entre la pollution atmosphérique et les admissions aux urgences de Sallanches. L'étude a pour but d'établir une série temporelle adaptée aux contraintes de la vallée : un faible bassin de population (108 573 habitants en 2015) et les variations saisonnières de la taille de la population du fait de la forte activité touristique.

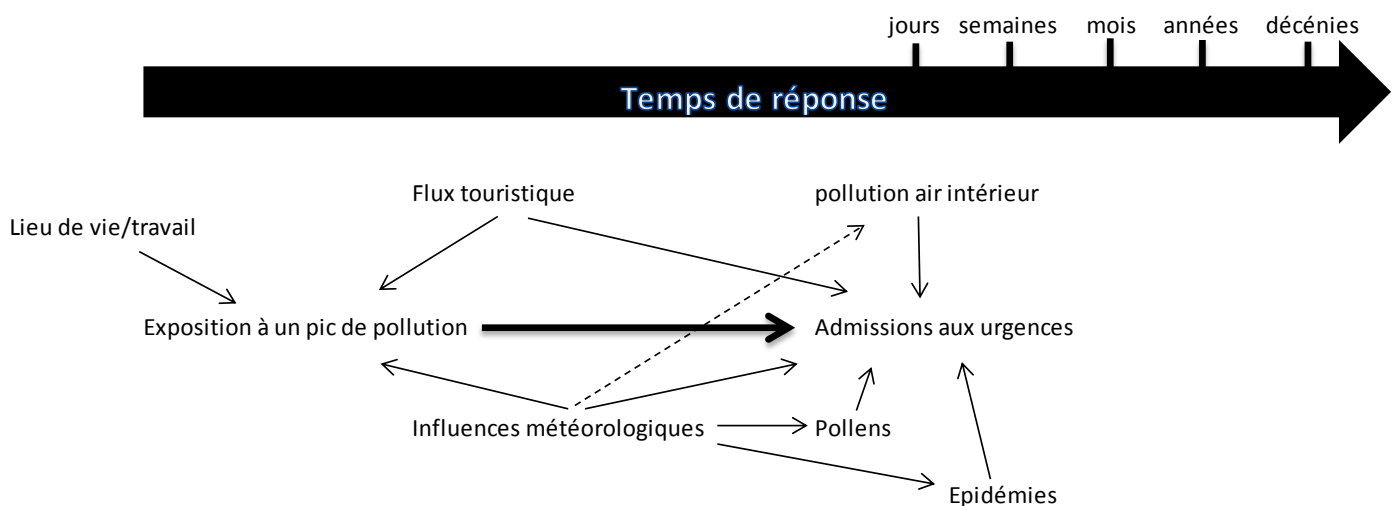
IV. Matériels et méthodes

A. Design de l'étude

L'étude des effets de la pollution atmosphérique sur la santé peut se faire par différents types d'évaluation. De manière générale les études d'impact à long terme nécessitent des suivis de cohortes plus complexes à mettre en œuvre.

Les effets à court terme sont en générale étudiés par des études de type séries temporelles. Ces séries intègrent des facteurs de confusion dans leur modèle (données météorologiques, épidémies grippe/VRS, comptes polliniques, vacances scolaires) (29).

Pour la vallée de l'Arve, le design envisagé est le suivant :



La durée de l'étude a été déterminée par plusieurs critères. Les effets de la pollution sur la santé étant aspécifiques les effectifs nécessaires à leur mise en évidence sont importants. La population de la vallée de l'Arve est assez faible pour ce type d'étude. La durée de l'étude doit être assez longue pour avoir un effectif suffisant. Les données rétrospectives des urgences ne sont pas limitantes. Les données de pollution sont disponibles à partir de 2001 pour la station de Chamonix et 2006 pour la station de Passy. Les données de santé sont disponibles sous forme de code CIM-10 à partir de 2006.

L'étude se déroule du 1/01/2007 au 31/12/2014.

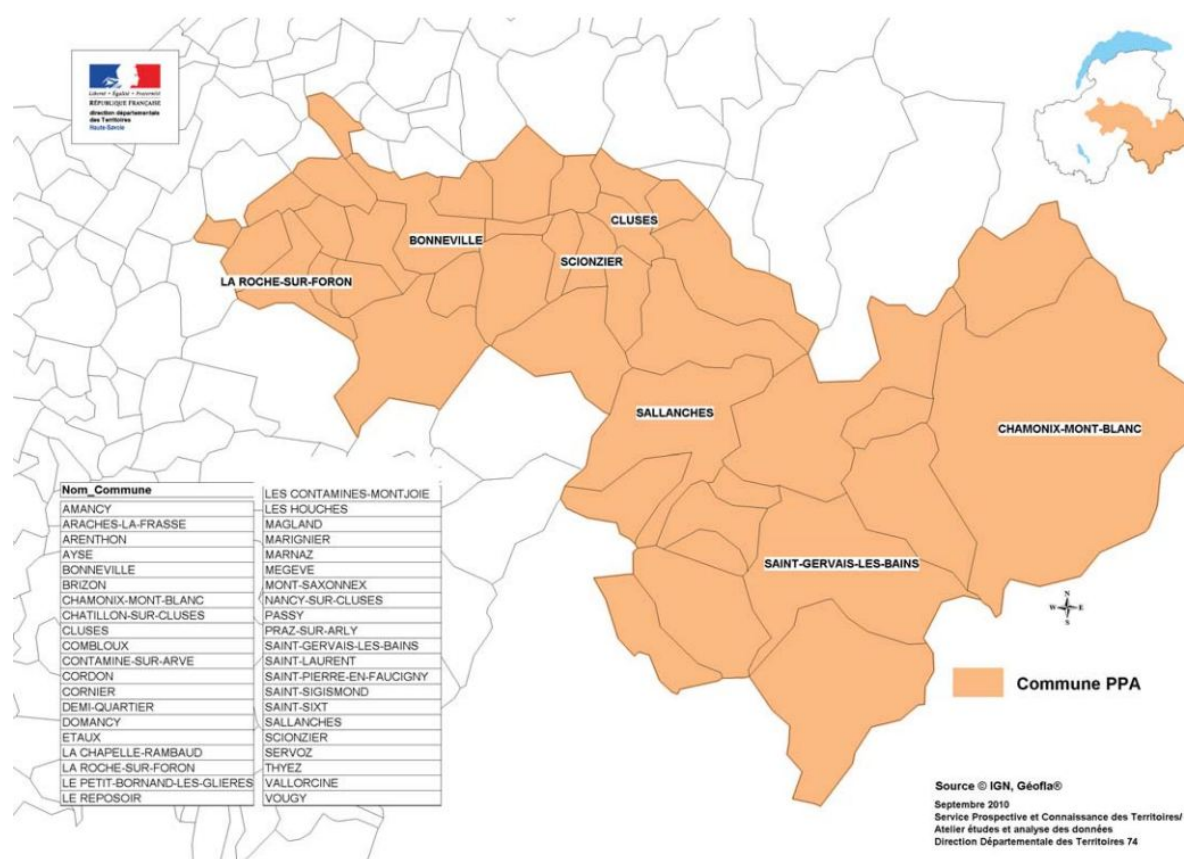
B. Définition de la zone d'étude

1. Zone concernée par le PPA

Le PPA de la vallée de l'Arve concerne 41 communes soit un total de 154 034 personnes (INSEE 2007).

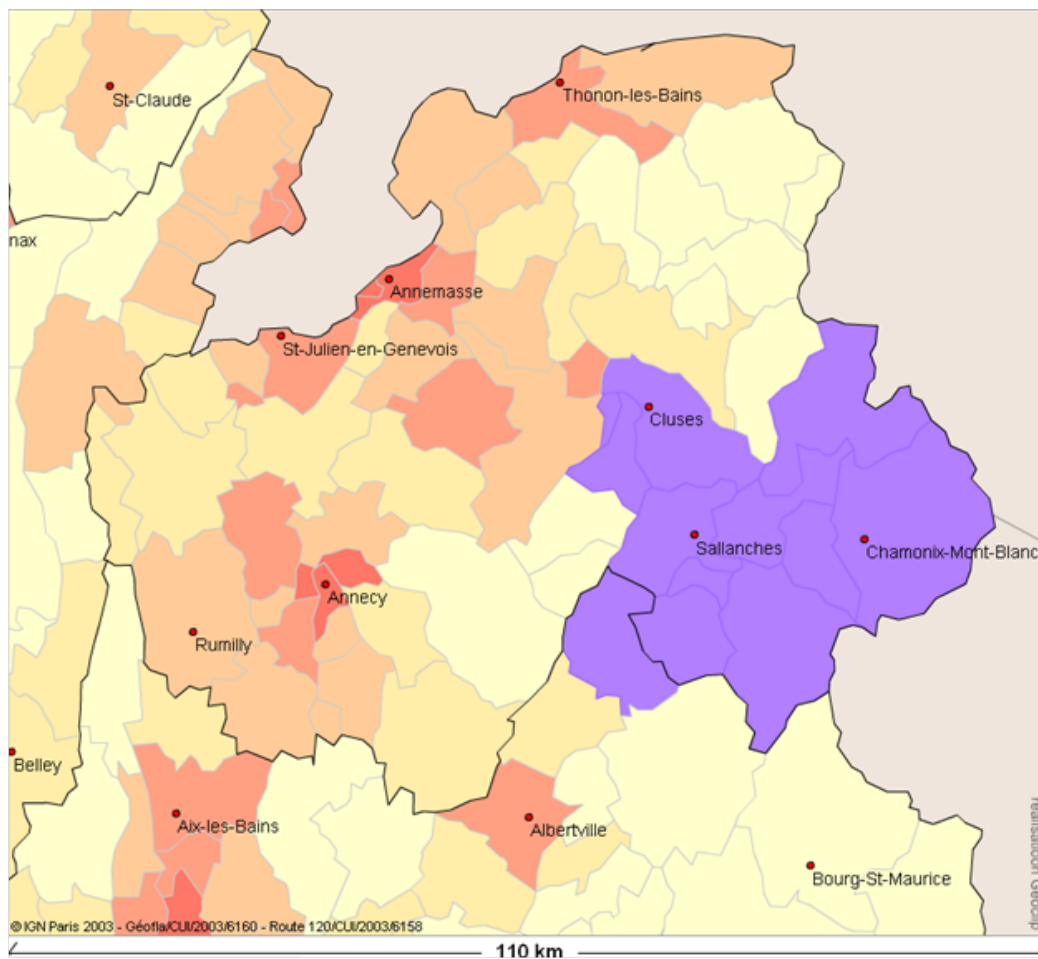
Sur cette zone on trouve 3 services d'urgences : le CHIAB (Centre Hospitalier Intercommunal Annemasse Bonneville) devenu en février 2012 le CHAL (Centre Hospitalier Alpes Léman) à Contamines-sur-Arve, les Hôpitaux du Pays du Mont-blanc (HPMB avec un site permanent à Sallanches et un site à ouverture saisonnière sur Chamonix). Et un service participant aux soins d'urgences à la clinique de l'espérance à Cluses (qui a fermé le 14 mars 2013).

La zone d'étude concerne la moyenne et la haute vallée de l'Arve, soit environ 2/3 de la population du territoire du PPA.



2. Provenance de la patientèle des urgences des HPMB

Zone de recrutement des HPMB :



La zone du Mont-Blanc comporte 108 573 habitants (population légale en vigueur au 1er janvier 2015). Le tableau ci-dessous illustre la répartition de la population dans la vallée en 2014 et 2015.

	Population légale au 1er janvier 2014	Population légale au 1er janvier 2015	Evolution
Chamonix/Les Houches/Servoz/Vallorcine	13 816	13 754	-62
Cluses/Marnaz/Scionzier	44 602	44 942	340
Combloux/Megève/Flumet	10 981	10 737	-244
Sallanches/Cordon/Domancy	20 138	20 502	364
St Gervais/Passy/Le Fayet	18 956	18 638	-318
TOTAL GENERAL	108 493	108 573	80

Les données ci-dessous ne sont pas spécifiques aux urgences des HPMB. Les données recueillies concernent les services d'hospitalisation des HPMB, soit les hospitalisations dans les services de médecine et de chirurgie. Ce sont les services d'aval des urgences des HPMB, la provenance géographique des patients est similaire.

REPARTITION DES SEJOURS DES HPMB PAR DISCIPLINE ET ZONE GEOGRAPHIQUE

Zone de résidence des patients	M	C	O	TOTAL	
Annemasse	1 329	494	240	2 063	Haute Savoie hors MB 2 332 séjours 12,2%
Thonon	52	26	14	92	
Anney	84	36	9	129	
Saint Julien en Genevois	23	17	8	48	
Autres région Rhône Alpes	181	91	10	282	
Touristes étrangers	188	271	9	468	Touristes 1 934 séjours 10,1%
Ile de France	235	170	9	414	
Autres régions françaises	399	335	36	770	
Total hors Mont Blanc	2 491	1 440	335	4 266	
Sallanches	2 342	935	355	3 632	Mont Blanc 77,7%
St Gervais/Passy/Le Fayet	1 750	786	300	2 836	
Chamonix	1 156	482	243	1 881	
Combloux/Megève/Flumet	588	290	87	965	
Cluses/Marnaz/Scionzier	3 743	1 024	771	5 538	
Mont-Blanc	9 579	3 517	1 756	14 852	
TOTAL HDPMB	12 070	4 957	2 091	19 118	

M: services de médecine des HPMB ; C: services de chirurgie des HPMB ; O: services d'obstétrique des HPMB

- 77.7% des patients hospitalisés aux HPMB sont **résidents dans la vallée de l'Arve** et donc exposés aux pics de pollution. Seul des patients provenant de Flumet ne sont pas dans la zone du PPA. Flumet compte 813 habitants et est situé à 22.2 km d'Albertville où se situe également un hôpital avec un service d'urgences et 22.5 km de Sallanches. L'impact du nombre de patients originaires de Flumet sur les admissions aux urgences de Sallanches est donc minime.

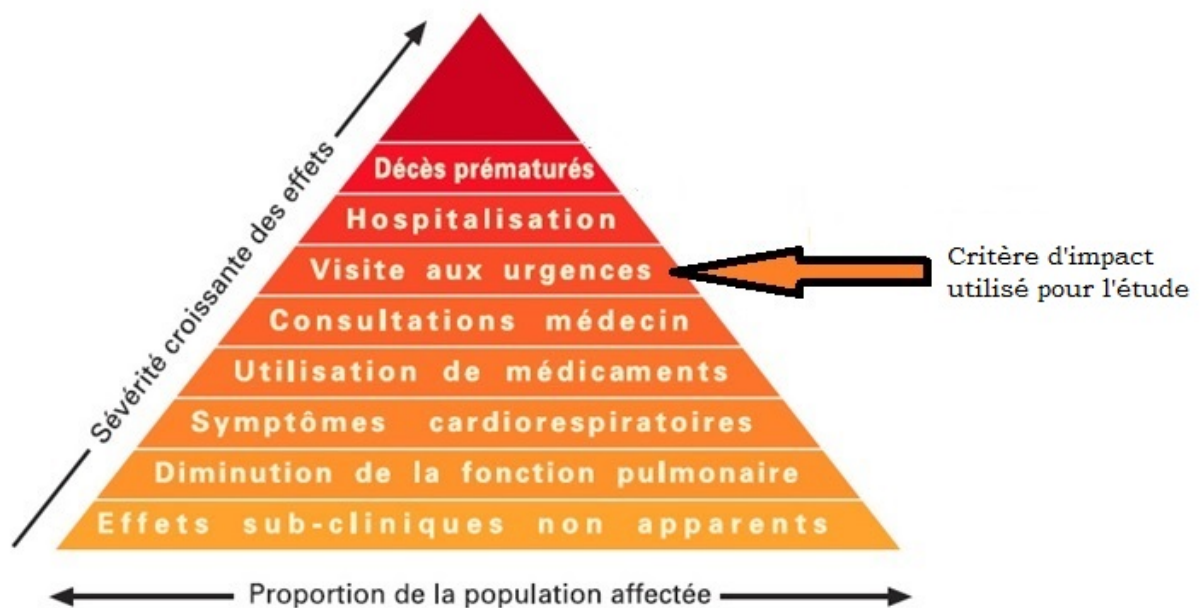
- 10.1% des patients hospitalisés sont **originaires d'autres régions françaises ou de l'étranger**. Cette patientèle correspond principalement aux touristes en séjour dans la région et donc exposés temporairement à la pollution dans la vallée.

-12.2% des patients hospitalisés aux HPMB proviennent **de Haute-Savoie hors zone du pays du mont-blanc**. 2 063 patients sur 2 332 sont originaires de la région d'Annemasse qui n'est pas concernée entièrement par le PPA, elle se situe en continuité basse de la vallée de l'Arve. Parmi ces patients : 478 viennent de Bonneville (concernée par le PPA), 510 de Taninges ,446 de Marignier (concernée par le PPA) et 263 de Samoëns.

Au total plus de 90% de la patientèle hospitalisée aux HPMB sont soit résidents permanents soit résidents temporaires dans la zone du PPA et donc exposés aux pic de pollution dans la vallée de l'Arve.

C. Critères d'impact sanitaire

1. Choix du critère d'impact



Données de base issues de la direction de la santé publique de Montréal 2003

La fréquence des effets de la pollution est inversement proportionnelle à la gravité de ces effets.

Le choix des urgences pour le recrutement des patients a été motivé par plusieurs facteurs :

- Les critères d'inclusion dans l'étude doivent être précis, les effets sub-cliniques sont difficilement mesurables et les symptômes sont mal définis. Le codage CIM-10 de sortie des urgences permet d'avoir un diagnostic précis pour chaque patient.

- Pour avoir une puissance statistique suffisante les effectifs doivent être importants. La population de la vallée de l'Arve est trop faible pour prendre en compte seulement les patients hospitalisés.

- La base de données doit être complète et rétrospective sur plusieurs années. L'utilisation des données de médecine générale extrahospitalière n'est pas adaptée à ce type d'étude rétrospective avec des effectifs importants.

- Les patients doivent être recrutés sur une zone représentant bien l'ensemble de la population de la vallée de l'Arve. Les HPMB drainent une partie importante des patients de la vallée de l'Arve.

2. Diagnostics retenus

Le service des urgences des HPMB utilise le logiciel DMU depuis 2006. Les dossiers des patients sont informatisés avec une observation médicale informatique. Pour valider la sortie d'un patient ou son hospitalisation un diagnostic de consultation aux urgences doit être mentionné. Tous les patients qui passent aux urgences ont un diagnostic de consultation avec un codage CIM associé.

L'extraction des données a été réalisée par le Docteur Adeline HENNICHE.

Pour chaque codage CIM les requêtes ont été réalisées de la même manière via le logiciel DMU Statistique. La donnée de sélection était le codage CIM-10. Pour chaque code CIM-10 un tableau Excel anonyme a été généré. Les données secondaires retenues étaient l'âge en année, le sexe, la commune de résidence principale, la température, le devenir du patient.

Les données brutes étaient pour chaque patient sous la forme suivante :

Numéro de venue	Age en années	Sexe	Date d'entrée sans heure	Libellé du mode de sortie	Code postal	Ville	Température	Nombre de venues
-----------------	---------------	------	--------------------------	---------------------------	-------------	-------	-------------	------------------

Le numéro d'entrée permettait d'avoir accès au dossier médical détaillé.

Une déclaration simplifiée a été réalisée auprès de la CNIL pour l'utilisation des données médicales.

10% des dossiers ont été analysés pour vérifier la bonne concordance avec la cotation CIM-10. Si les dossiers médicaux analysés n'étaient pas homogènes et conformes à la définition du codage CIM10, la totalité des observations médicales étaient lues.

La sélection des codes CIM à inclure dans l'étude a été réalisée à partir des lignes directrices de l'OMS et des données de la littérature médicale.

Cette méthodologie a été utilisée dans la 2^{ème} phase du programme ERPURS (initialement avec CIM9). (25,29) Lors de l'analyse des liens à court terme entre niveaux de pollution particulaire et morbidité (2003-2006), l'indicateur sanitaire était basé sur la codification CIM. La classification CIM-9 avait également été utilisée lors de l'analyse conjointe de l'impact cardio vasculaire et pulmonaire sur les admissions aux urgences dans la région d'Atlanta publiée en 2007. (17,34)

Les différents codes CIM ont été regroupés selon le type de pathologies :

- pathologies respiratoires
- pathologies cardiovasculaires
- pathologies neurovasculaires

La liste des codes CIM-10 sélectionnés est en annexe 2.

Une analyse par classe d'âge est envisagée. Dans la littérature, la plupart des études (ERPURS, APHEA, PSAS9) retiennent les classes suivantes : catégories d'âge <15 ans; 15-64ans; >64ans. (29,35)

3. Critères d'inclusions

Le recrutement a été réalisé aux urgences des Hôpitaux du Mont-Blanc (site de Sallanches et de Chamonix), durant la période de l'étude. Les patients inclus sont ceux consultant pour des pathologies reconnues comme étant impactées par la pollution atmosphérique selon les données actuelles de la science. La période d'inclusion est du 01 janvier 2007 au 31 décembre 2014, soit 3 073 jours.

4. Pathologie contrôle

La fréquentation générale des urgences varie selon le jour de la semaine avec un pic de fréquentation le lundi. Le nombre moyen de passages aux urgences toutes causes confondues comprend l'activité liée à la traumatologie de montagne (plus importante en vacances scolaires et week-end), les épidémies saisonnières, l'activité de suite de soins (plus importante les jours ouvrés), l'alternance de pathologies liées aux activités domestiques ou au travail...

Une pathologie contrôle est définie afin de préciser ces variations hebdomadaires lors de la période d'étude. Pour être représentative, cette pathologie doit avoir un effectif important, ne pas être impactée par la pollution/ les épidémies les conditions climatiques et météorologiques/ la traumatologie. La pathologie correspondant le mieux est la colique néphrétique, code CIM-10 : N23. La fréquence de la colique néphrétique est estimée entre 1 à 2 % des entrées d'un service d'urgences (8^{ème} conférence de consensus de la société francophone d'urgences médicales, 1999 SFMU). Elle correspond à une douleur liée à l'obstruction de la voie excrétrice du haut appareil urinaire secondaire à une lithiase urinaire le plus souvent.

Une variable catégorielle a été introduite dans le modèle pour tenir compte de ces variations hebdomadaires : DOW (Day Of the Week).

D. Données pollutions

1. Air Rhône-Alpes

Les données concernant la pollution atmosphérique proviennent d'Air Rhône Alpes (37). C'est un observatoire agréé par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie pour la surveillance et l'information sur la qualité de l'air en Rhône-Alpes. C'est une Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), et donc par décret ministériel une association type « loi 1901 » à but non lucratif.

Son organisation est quadripartite pour garantir la transparence des informations fournies:

- les représentants de l'état,
- les collectivités territoriales et locales,
- les professionnels de l'industrie et du transport,
- les associations de consommateurs, de protection de l'environnement, ainsi que les personnalités qualifiées (scientifiques, professionnels de santé).

2. Les stations de mesure

Les indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique doivent représenter l'exposition moyenne de la population, les stations urbaines ou péri-urbaines sont les plus représentatives.

Dans la vallée de l'Arve on trouve plusieurs stations de surveillance de la qualité de l'air. La station de Sallanches est trop récente pour la période d'étude concernée et n'a pas été prise en compte dans l'étude. La station Aiguille du Midi (3 842 mètres) permet la surveillance de l'ozone en altitude mais n'est pas représentative de l'exposition humaine dans la vallée, elle n'a pas été prise en compte.

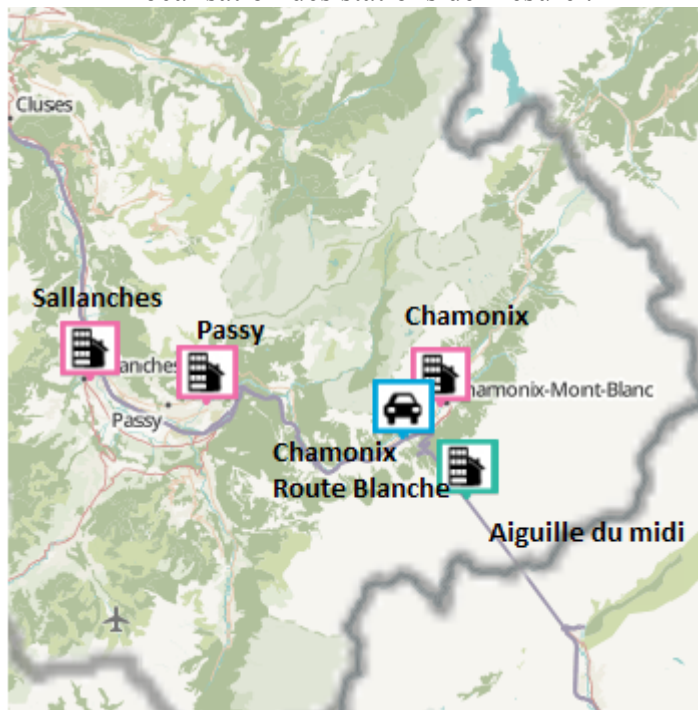
Les stations les plus représentatives utilisées pour l'étude sont :

-La station de Chamonix-centre (1038m) est une station urbaine située Rue du Lyret 74400 CHAMONIX-MONT-BLANC. Elle a été mise en service le 31-10-1997.

-La station Chamonix Les Bossons-route blanche (1000m) est une station périurbaine située en bordure de chaussée de la RD1205 au Village des Bossons 74400 CHAMONIX-MONT-BLANC. La RD 1205, également appelée « route blanche » correspond à la continuité de l'autoroute blanche A40. Elle traverse toute la vallée de l'Arve, c'est la rampe d'accès au tunnel du mont blanc. La station a été mise en service le 05-12-2001.

-La station de Passy (588m) est une station urbaine de fond de vallée située Rue Salvatore Allende 74190 PASSY. Elle a été mise en service le 30-06-2006.

Localisation des stations de mesure :



(source cartographique : air Rhône-Alpes)

Les données brutes fournies par Air Rhône Alpes (ASQAA) correspondent aux moyennes horaires par polluant et par station. Les moyennes journalières utilisées pour l'étude découlent de ces moyennes horaires. Lorsqu'il manquait plus de 25% des données, ces dernières n'étaient pas prises en compte. Ce pourcentage est le même que celui utilisé dans le projet Aphekom.

L'évaluation des taux de pollution dans la vallée se base sur la moyenne des taux journaliers de polluants sur les 3 stations de la vallée (Chamonix, les Bossons-route blanche et Passy).

Stations de surveillance de la qualité de l'air dans la vallée de l'Arve :

Station	Zone	Principaux polluants mesurés/année d'installation
Chamonix	Urbaine	SO ₂ , NO ₂ , NO, O ₃ , PM ₁₀ (1997)
Chamonix route blanche	proximité automobile	NO, NO ₂ et PM ₁₀ (2001)
Aiguille du Midi	Altitude	O ₃ (2008)
Passy	Urbaine	NO, O ₃ , NO ₂ , PM ₁₀ (2006), benzo(a)pyrène (2012), PM _{2,5} (2015)
Sallanches	Urbaine	PM ₁₀ , benzo(a)pyrène (2015)

tableau construit à partir des données d'air Rhône-Alpes

Les polluants utilisés sont PM₁₀, NO₂, NO et O₃. Ce sont les principaux polluants retrouvés dans la vallée et avec une antériorité des mesures permettant une étude rétrospective sur plusieurs années. Les données sont disponibles depuis le 1^{er} janvier 2007 ce qui fixe le début de la période d'étude. Le manque de données concernant les PM₁₀ sur les stations de Chamonix-Les Bossons et Passy (avec plus de 25% de données manquantes sur la période d'étude) ne permet pas de faire une moyenne, l'analyse se base uniquement sur la station de Chamonix.

3. Exposition de la population à la pollution atmosphérique

Le lieu de résidence, bien que disponible dans la base de données, n'a pas été pris en compte dans l'étude. La vallée de l'Arve par sa topographie et son organisation engendre des déplacements de population. Les zones d'activité touristique se situent en station alors que l'activité industrielle et commerciale se situe en fond de vallée. Cette répartition particulière des différentes activités liées au travail entraîne des déplacements qui rendent le lieu de résidence peu représentatif de l'exposition à la pollution diurne. La région ayant une activité touristique importante, une partie des consultations effectuées aux urgences concerne des personnes dont le domicile se situe en dehors du département alors qu'ils sont exposés à la pollution de la vallée lors de leur séjour. L'exposition de la population à la pollution atmosphérique est estimée par la moyenne des taux de polluants atmosphériques effectués dans les trois stations de mesure.

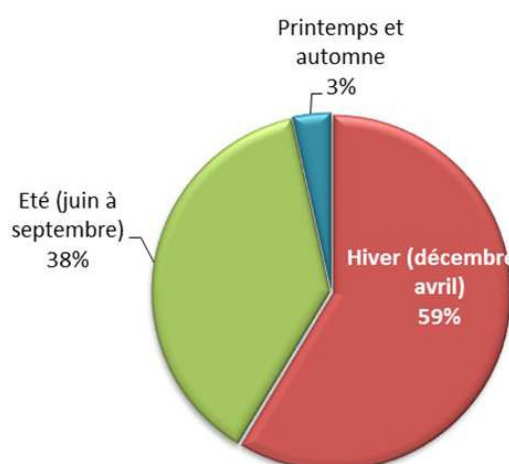
E. Facteurs d'ajustement

1. Particularité de la haute vallée de l'Arve : l'activité touristique

La vallée de l'Arve est une zone touristique comprenant plusieurs stations sur le territoire de l'étude. L'activité touristique a un impact important sur la fréquentation aux urgences de Sallanches et Chamonix. Afin de limiter l'impact de ce biais de confusion, des données de fréquentation touristiques ont été intégrées dans l'analyse.

a) Description de l'activité touristique de la vallée

Le Pays du Mont Blanc (haute vallée de l'Arve) regroupe 14 communes (Chamonix-Mont-Blanc, Combloux, Cordon, Demi-Quartier, Domancy, Megève, Passy, Praz-Sur-Arly, Saint-Gervais-Les-Bains, Sallanches, Servoz, Vallorcine, Les Contamines-Montjoie, Les Houches). La zone possède 207 900 lits touristiques (source Savoie Mont-Blanc Tourisme, 2014). L'activité touristique est très variable au cours de l'année. La fréquentation est plus importante en hiver au moment de la recrudescence des pics de pollution.

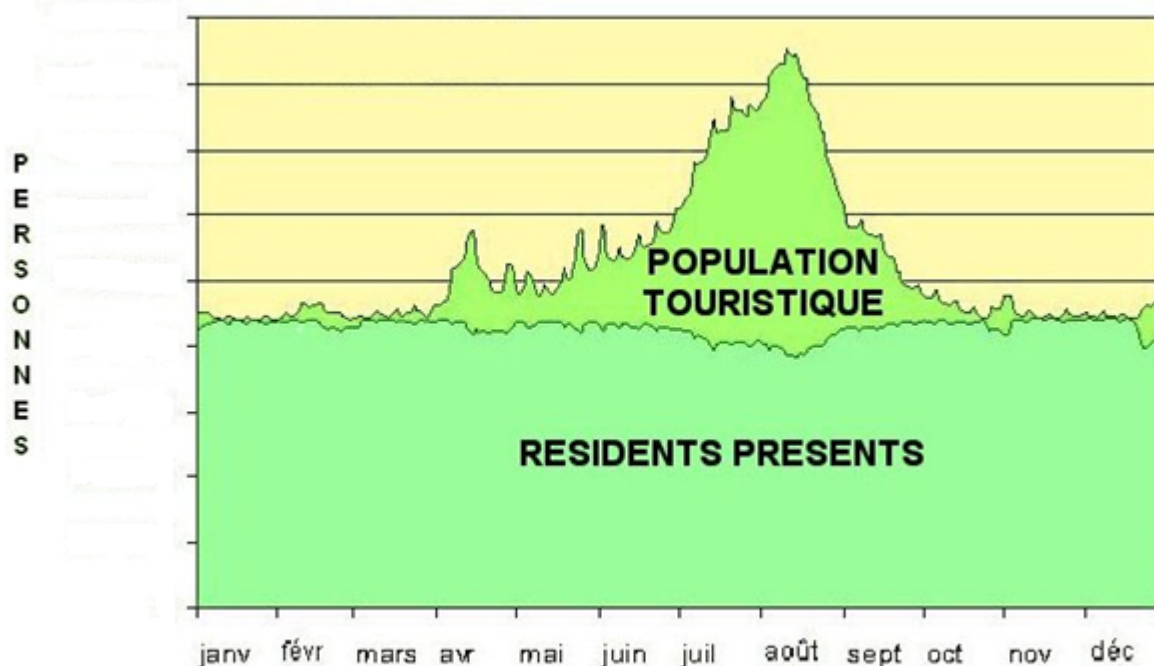


Répartition de l'activité touristique sur l'année 2014 (source SMBT)

b) Description de la base de données utilisée

Les données touristiques proviennent de Savoie Mont Blanc Tourisme (Source : INSEE DGCIS – Traitement Observatoire SMTB). C'est une association financée par l'Assemblée des Pays de Savoie pour promouvoir la destination. Les données utilisées sont issues d'une enquête réalisée par le cabinet d'études François MARCHAND selon la méthode des flux.(38) Cette méthode permet une quantification des nuitées touristiques à partir de la comptabilisation journalière de tous les mouvements de voyageurs à destination et au départ du territoire étudié. La différence journalière entre entrants et sortants détermine la variation de population présente sur le site étudié. Ceci permet d'établir une courbe de variation qui une fois calée sur celle des résidents permanents, dessine la courbe de présence totale de population (résidents et touristes). L'évaluation des nuitées touristiques est déduite des précédentes courbes par différence (illustration ci-dessous).

Illustration à titre d'exemple de la méthodologie des flux marchands (graphique ne correspondant pas à la vallée de l'Arve) :



Source : La méthode des flux bureau d'étude François Marchand (38)

Les données touristiques comprennent tous les types d'hébergements, que ce soit les hébergements marchands (hôtels, résidences de tourisme...) ou les hébergements non marchands (résidences secondaires...).

2. Influence de la météorologie

Les conditions météorologiques ont des effets directs sur la santé via les saisons, la température et l'humidité principalement. Mais également des effets indirects comme par exemple l'ensoleillement propice à la pollinisation et aux activités de plein air qui peut secondairement déclencher des manifestations allergiques. Le rayonnement ultraviolet en période d'ensoleillement favorise la formation des polluants secondaires. De même, la chaleur et l'ensoleillement favorisant les activités extérieures, l'exposition individuelle aux polluants atmosphériques varie avec les conditions météorologiques. La météorologie influence directement et indirectement la santé mais elle influence également les taux de polluants atmosphériques. Les conditions dépressionnaires favorisent leur dispersion.

Les données ont été fournies par météo France. La France métropolitaine étant divisée en sept zones, les données proviennent du centre météorologique de Chambéry.

Elles comprennent :

- la température moyenne journalière
- la température minimale journalière
- la température maximale journalière
- la vitesse journalière moyenne du vent
- les précipitations journalières
- le taux d'humidité moyen journalier
- le taux d'humidité minimal journalier
- le taux d'humidité maximal journalier

3. Fermeture du service d'accueil d'urgence de la Clinique de l'Espérance à Cluses

La clinique de l'Espérance à Cluses est située sur le territoire de l'étude. C'est un établissement privé qui a contribué à l'activité des soins d'urgences durant la période d'étude. Elle a fermé son service d'accueil d'urgence le 14 mars 2013. Une variable binaire (clinique ouverte avant cette date/clinique fermée après) a été introduite dans le modèle pour prendre en compte la modification de l'offre de soin sur le territoire.

F. Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée par Emilie PHILIPPE et Rémy SLAMA à l'Inserm de Grenoble.

L'objectif principal de cette série temporelle sera de mettre en évidence s'il existe une corrélation entre les variations des taux de polluants dans la vallée de l'Arve et les admissions aux urgences pour des pathologies reconnues par l'OMS comme étant influencées par la pollution atmosphérique.

Les séries temporelles sont régulièrement utilisées pour mettre en évidence l'impact à court terme de la pollution atmosphérique. Elles mettent en relation des variations temporelles à court terme d'un indicateur de santé avec celles d'indicateurs d'exposition de cette même population à la pollution atmosphérique. Elles permettent de décrire une série de données et les mécanismes sous-jacents. L'intérêt des séries temporelles dans cette étude est de décrire le lien entre les variations des taux de polluants atmosphérique dans la vallée et les admissions aux urgences. L'aspect prévisionnel des séries temporelles ne sera pas étudié.

La modélisation teste l'existence d'associations statistiques entre les variations d'une série chronologique d'évènements sanitaires (ici les admissions aux urgences) quotidiens au sein de la population de la vallée de l'Arve et les variations de niveaux de pollution atmosphérique journaliers dans cette vallée.

Le modèle statistique devrait permettre d'intégrer des données relatives à des variables explicatives.

Les facteurs de confusion identifiés (fréquentation touristique, température/humidité, fermeture de la clinique de Cluses, jours de la semaine) ont été intégrés au modèle afin de limiter leur impact.

Le modèle statistique utilisé est le Modèle Linéaire Généralisé (GLM). Il permet de prendre en compte les indicateurs sanitaires journaliers, les tendances à long terme et les variations saisonnières/ hebdomadaires.

L'indicateur de pollution sera testé initialement sans décalage puis est testé avec différents décalages (1, 2 ou 3 jours), simples puis moyennés.

L'analyse statistique commencera par une analyse descriptive de la série afin d'en déduire son comportement puis une modélisation des tendances et autres facteurs. L'objectif final de l'étude est de rechercher une corrélation entre les polluants et les indicateurs de santé validés par une analyse de sensibilité.

Le critère d'Akaike ou AIC (Akaike-Information Criterion) est utilisé pour choisir le meilleur modèle linéaire. Il s'effectue sur la base de la minimisation du critère.

La base de données a été créée avec le logiciel STATA, l'analyse statistique sera réalisée avec le logiciel R.

V. Résultats

A. Analyse descriptive des données

1. Description de la base de données médicales

La dénomination et la définition des différents codes CIM sélectionnés associés à la description issue de l'analyse de 10% des dossiers médicaux se trouve en annexe 3.

De manière générale la cotation était concordante entre les dossiers et la classification CIM-10. Pour certaines pathologies le diagnostic pouvait être mixte, principalement les pathologies respiratoires entraînant une décompensation cardiaque associée.

Concernant les hémorragies méningées, un tiers était secondaire à un traumatisme.

Les codes CIM-10 associés à la description des dossiers médicaux se trouve en annexe 3.

2. Description de la série

Il n'y avait pas de données médicales manquantes puisqu'il existe une obligation médicolégale : tous les dossiers doivent être conservés.

Cependant certains jours aucun patient n'était admis pour les pathologies sélectionnées. Les données « 0 » correspondent à une absence d'admission journalière pour la pathologie concernée et non à une absence de donnée.

La distribution journalière des événements de santé pour chaque code CIM-10 se trouve dans le tableau ci-dessous.

Effectif du 1^{er} Janvier 2007 au 31 décembre 2014

Variable	Mean +(SD)	Min	Centile			Max	Total
			Centile 25	Median	75		
Emergency admissions							
Bronchite aiguë	0,28 (0,58)	0	0	0	0	5	815
AIT	0,22 (0,47)	0	0	0	0	4	631
Angor	0,24 (0,51)	0	0	0	0	4	700
Asthme	0,46 (0,69)	0	0	0	1	4	1335
AVC Hemo	0,07 (0,26)	0	0	0	0	2	194
AVC Isch	0,27 (0,53)	0	0	0	0	5	786
BPCO	0,27 (0,52)	0	0	0	0	4	790
Bronchiolite	0,28 (0,65)	0	0	0	0	8	820
Bronchospasme	0,01 (0,06)	0	0	0	0	1	10
Choc Crdio	0,01 (0,12)	0	0	0	0	1	41
Etat mal asthmatique	0,02 (0,14)	0	0	0	0	2	56
Grippe	0,10 (0,34)	0	0	0	0	3	296
HSA	0,03 (0,17)	0	0	0	0	2	83
Insuffisance cardiaque	0,37 (0,62)	0	0	0	1	5	1067
IDM	0,15 (0,38)	0	0	0	0	2	441
Insuffisance respiratoire décompensé	0,07 (0,28)	0	0	0	0	3	212
Laryngite	0,21 (0,49)	0	0	0	0	4	618
Maladie respiratoire décompensée	0,02 (0,15)	0	0	0	0	2	59
OAP Cardiogénique	0,40 (0,65)	0	0	0	1	4	1166
Pneumopathie	1,09 (1,13)	0	0	1	2	8	3174
Toux	0,02 (0,15)	0	0	0	0	2	65

Les différents codes CIM ont été regroupés selon le type de pathologie respiratoire (respiratory), cardiovasculaire (CVD), neurovasculaire (neurovasc) et selon l'âge des patients. Les données présentées correspondent aux nombre d'admissions journalières.

Effectifs du 1^{er} janvier 2007 au 31 décembre 2014 :

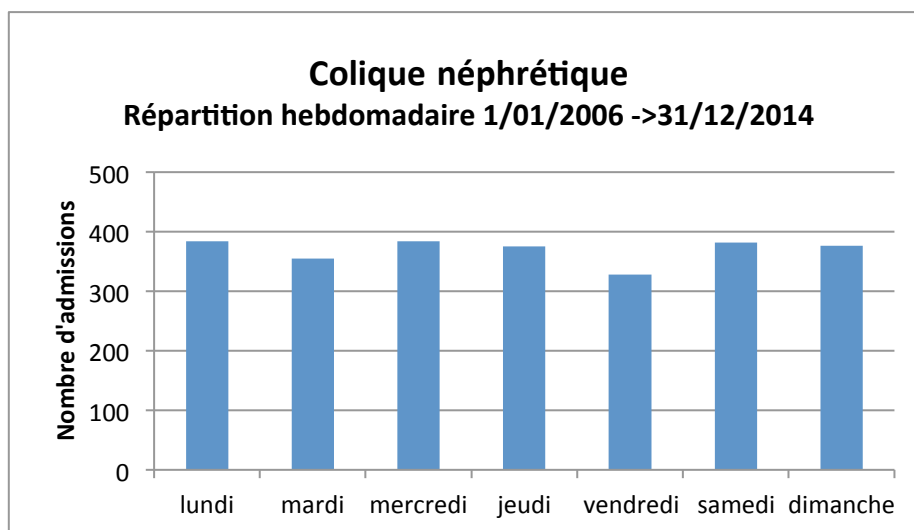
Variable	Age	Missings	Mean +(SD)	Min	Centile 25	Median	Centile 75	Max	Total
Emergency admissions									
Toutes causes	all		4.67(2,61)	1	3	4	6	17	13359
	15		0,96(1.19)	0	0	1	1	10	2738
	15 64		1.15(1.19)	0	0	1	2	8	3298
	65		2,56(1,82)	0	1	2	4	12	7323
CVD	all		1.17(1.15)	0	0	1	2	8	3425
	15		0,01(0,06)	0	0	0	0	1	11
	15 64		0,22(0,48)	0	0	0	0	4	633
	65		0 97(1,04)	0	0	1	1	6	2781
Respiratory	all		2.51(1.95)	0	1	2	4	13	7326
	15		0,72(0,99)	0	0	0	1	8	2053
	15 64		0,70(0,93)	0	0	0	1	7	2000
	65		1.14(1.20)	0	0	1	2	9	3273
Neurovasc	all		0,58(0,79)	0	0	0	1	6	1694
	15		0,01(0,26)	0	0	0	0	1	2
	15 64		0,16(0,40)	0	0	0	0	3	445
	65		0,436(0,682)	0	0	0	1	5	1247
Epidemio	all		0,312(0,620)	0	0	0	0	5	914
	15		0,235(0,526)	0	0	0	0	4	672
	15 64		0,0769(0,295)	0	0	0	0	3	220
	65		0,00769(0,0874)	0	0	0	0	1	22

3. Variations hebdomadaires de fréquentation des urgences

La variation hebdomadaire a été analysée à partir de la pathologie contrôle (colique néphrétique). Un descriptif issu de l'analyse des dossiers médicaux se trouve à la fin de l'annexe 3.

Jours de la semaine	effectif
lundi	384
mardi	355
mercredi	384
jeudi	375
vendredi	328
samedi	382
dimanche	376
Total général	2584

Diagramme de répartition des entrées pour la pathologie contrôle :



On retrouve une variation modérée de fréquentation hebdomadaire principalement avec un effectif moins important les vendredis.

B. Polluants

La fréquence des données manquantes pour chaque polluant sur les différentes stations :

Variable	Données manquantes	fréquence des données manquantes
PM10 Passy	1 119	37.15
PM10 Bossons	856	28.42
PM10 Chamonix	44	1.46
PM25 Passy	3 012	100,00
NO2 Passy	158	5.25
NO2 Chamonix	49	1.63
NO2 Bossons	16	0.53
NO Passy	112	3.72
NO Chamonix	43	1.43
NO Bossons	16	0.53
O3 Passy	18	0.60
O3 Chamonix	30	1,00

Les cases grisées correspondent à une fréquence des données manquantes supérieures à 25%, elles n'ont pas été introduites dans l'analyse.

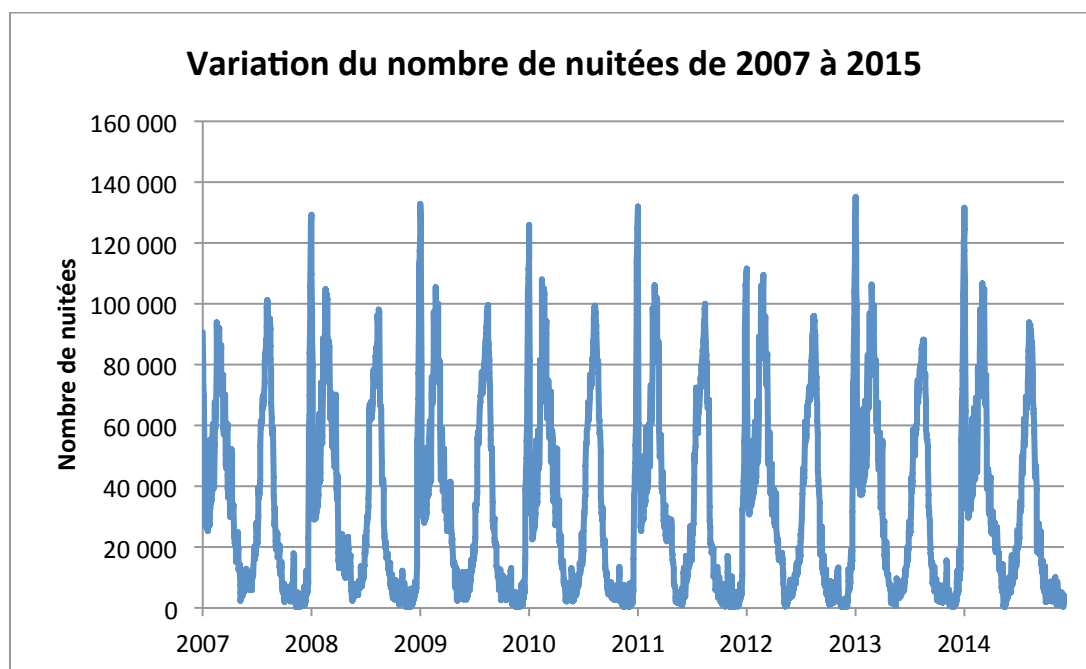
Les données de pollution intégrées au modèle sont :

- PM₁₀ : station de Chamonix uniquement
- NO₂ : moyenne des stations de Passy/Chamonix/Les Bossons
- NO : moyenne des stations de Passy/Chamonix/Les Bossons
- O₃ : moyenne des stations de Passy et Chamonix

C. Variables d'ajustement

Distribution du nombre de nuitées

Nombre de nuitées marchandes et non marchandes dans le PMB entre 2007 et 2014:

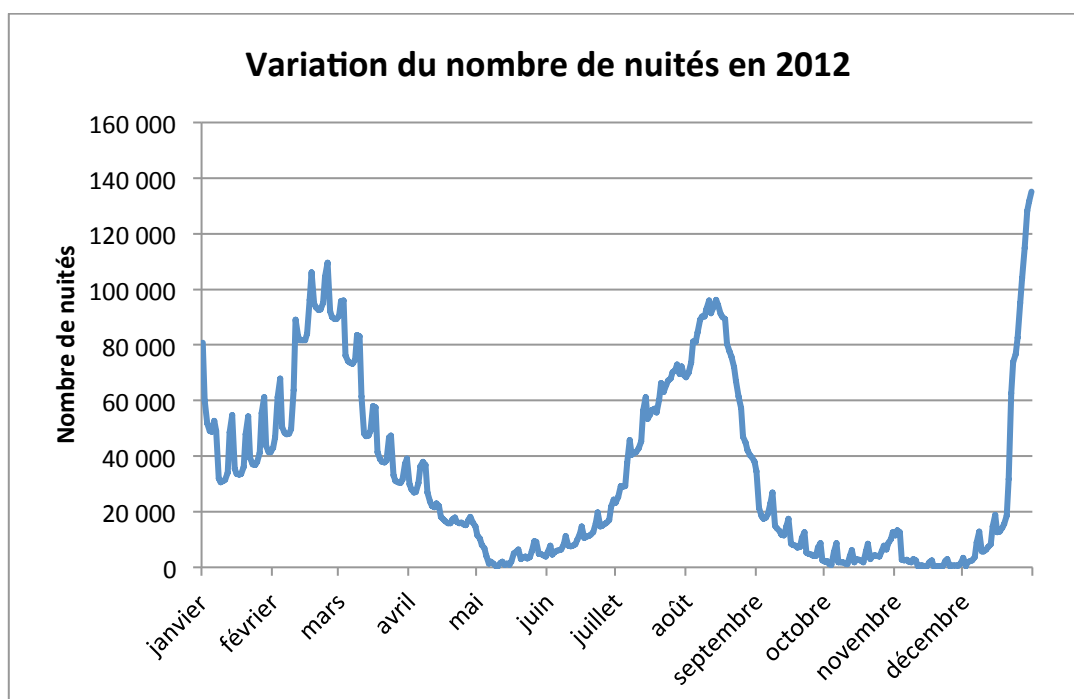
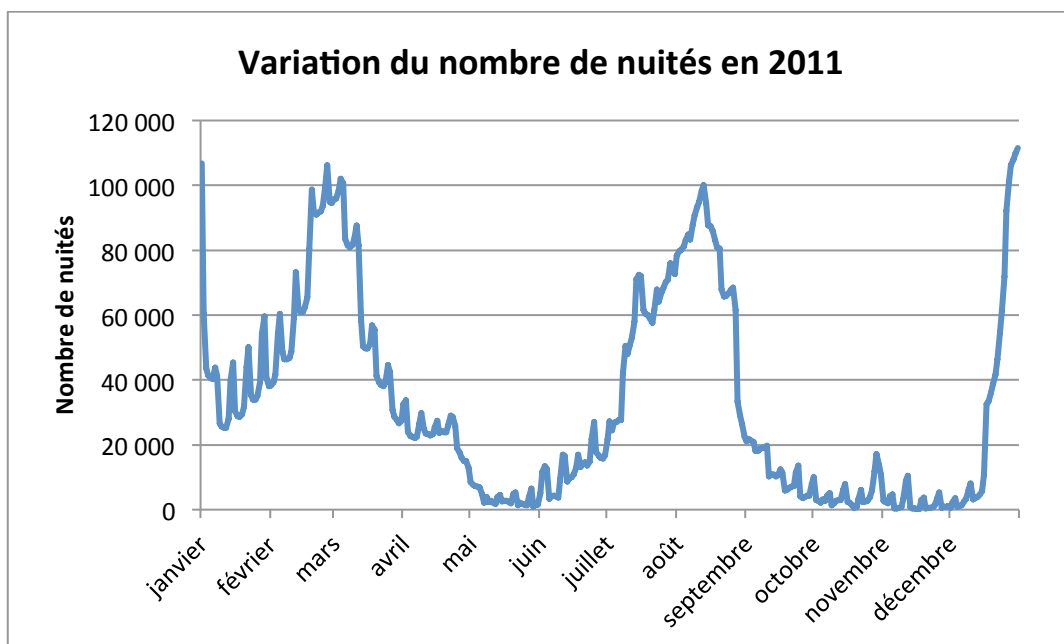


Nombre minimal de nuitées sur la série : 100

Nombre maximal de nuitées sur la série : 135 100

On observe des variations récurrentes sous forme de pic de fréquentation sur les périodes touristiques.

Distribution de la répartition annuelle des nuitées centrée sur deux années consécutives (2011 et 2012).



On retrouve trois pics principaux qui correspondent à l'augmentation de fréquentation pendant les périodes de vacances scolaires :

- Vacances de février/mars
- Vacances d'été juillet/aout
- Vacances de fin d'année (Noël/Nouvel An)

Ces périodes de forte affluence fluctuent de quelques jours en fonction des dates de vacances. L'intensité des pics est variable selon les années.

On retrouve également en dehors de ces périodes de forte affluence une fréquentation moyenne en janvier/ février/ mars/ avril.

Des pics étroits réguliers se surajoutent, ceci correspond à une augmentation de fréquentation durant les week-ends.

D. Construction d'un modèle

La modélisation et l'analyse statistique a permis d'identifier un modèle linéaire généralisé avec un lien logarithmique et une distribution négative-binomiale comme étant le modèle statistique le plus adapté.

Le modèle proposé est le suivant:

```
glm.nb(allcauses/cvd/respi~pm10+ns(daily1,7*8)+ns(temp_ma_3days,3)+ns(temp,4)+ns(hum,4)+ns(humi_ma_4days,4)+ns(nuits,4)+dow+clincl)
```

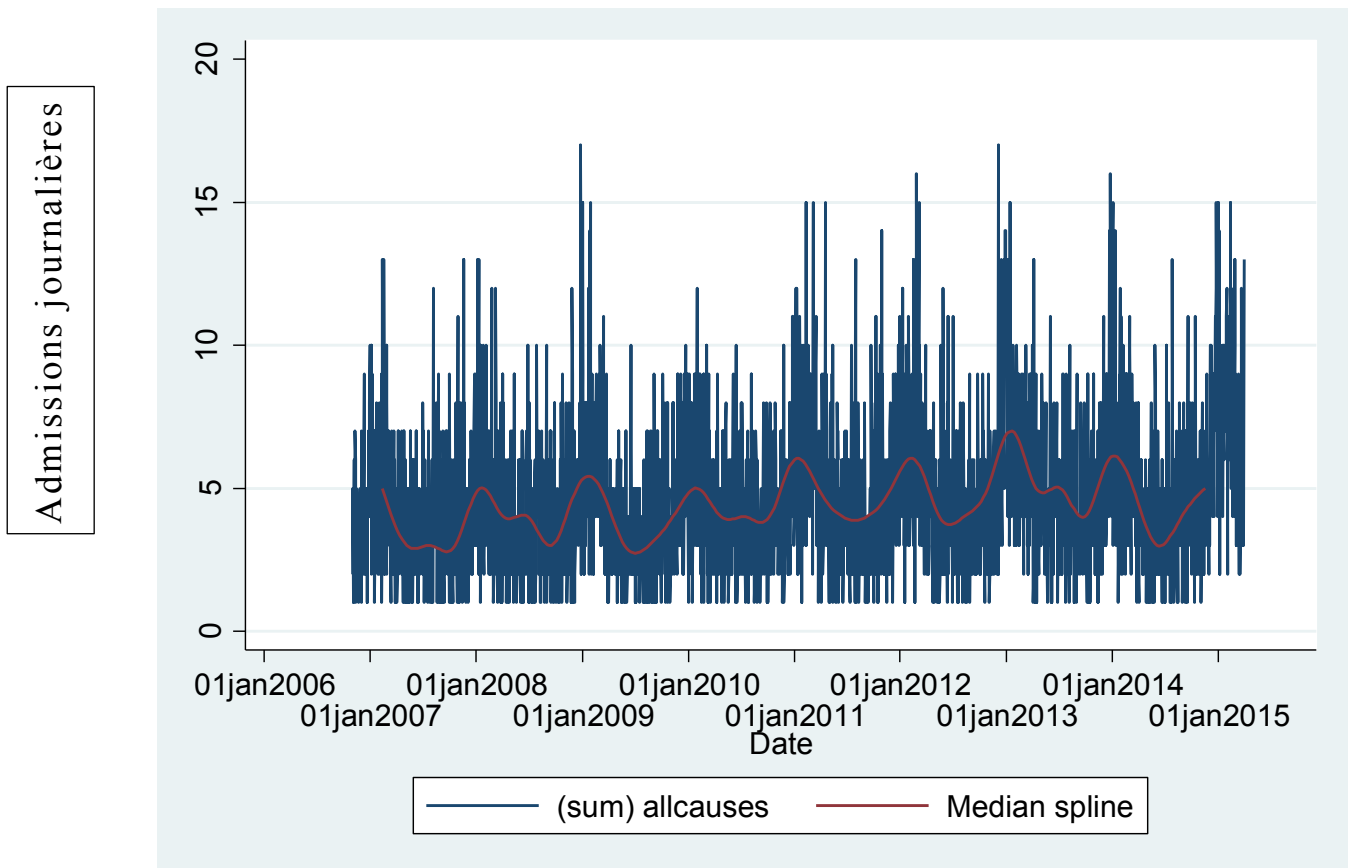
- Respi : respiratory : Admissions pour causes respiratoires
- CVD : cardiovascular disease : Admissions pour causes Cardiovasculaires
- Allcauses : Admissions causes confondues
- Tempa : température
- Nuites : Nombre de nuitées touristiques
- Daily1 : Temps, 1jour : jour par jour de 2007 à 2014
- Humidity : humidité
- Clin_Cl : ouverture fermeture de la clinique de cluses en mars 2013 (clinique ouverte avant le 14/03/2013/clinique fermée après)
- Dow : day of the week : jour de la semaine, donnée qualitative

Splines : Natural cubic splines

- Spdaily
- Sptemp : temperature
- spnuites : nuitées
- sphum : humidité
- I.jour : day of the week

E. Modélisation des tendances

Nombre d'admissions journalières toutes causes sur la période d'étude :



La distribution de la série toutes pathologies confondus retrouve des pics en hiver.

VI. Discussion

A. Puissance statistique

Les études retrouvant un effet significatif de la pollution atmosphérique sur les admissions aux urgences étaient en général multi centriques. Le projet APHEA qui retrouvait une augmentation des admissions aux urgences de l'ordre de 1% étaient mené sur des milliers de consultations aux urgences. (35) Les augmentations de consultations après un pic ne sont pas majeures à l'échelle de la population générale, pour les mettre en évidence il faut des effectifs importants.

Notre étude concerne les urgences des HBPM qui comprennent les sites de Sallanches et de Chamonix. Ces sites correspondent à l'offre de soins d'urgences dans la vallée durant toute la période. Le service de la clinique de Cluses a fermé pendant la période d'étude. Le service des urgences du CHAL à Bonneville se situe en basse vallée. L'exposition à la pollution atmosphérique de la population de Bonneville ne correspond pas aux taux relevés dans les stations de mesure de Chamonix/ Passy/ Les Bossons.

L'impact sanitaire de la pollution étant aspécifique, les effectifs nécessaires à la mise en évidence de cet impact sont conséquents. L'effectif de la population de la vallée de l'Arve est faible (108 573 habitants en 2015) et ne permettra pas d'avoir une puissance statistique importante.

Augmenter la période d'étude permettrait un gain de puissance, mais avec un impact limité dans l'immédiat. Les données hospitalières et de pollution ne sont disponibles qu'à partir d'avril 2006 (soit un gain d'environ 15 mois de suivi par rapport à ce qui est disponible actuellement, en intégrant aussi les données du premier semestre 2016).

1. Analyse par type de pathologie

L'analyse d'Etrapol concernant les admissions cardiovasculaires retrouvait des résultats aléatoires lorsque le nombre de consultation journalière était trop faible (<5 admissions par jour). Aux urgences de Sallanches le nombre moyen d'admission pour pathologie cardiovasculaire est très faible. Pour les événements cardiovasculaire la médiane était à 1 (25ème, 75ème centile, 0-2) et pour les événements neurovasculaires à 0 (25ème, 75ème centile, 0-1).

2. Analyse par classe d'âge

Les conséquences respiratoires de la pollution atmosphérique sont plus importantes chez les enfants.

La limite de la classe d'âge pédiatrique, fixée à 15ans, semble la plus adaptée : c'est la limite la plus souvent utilisée dans les études et elle permet d'avoir un effectif important. Certaines études prennent la limite d'âge de 2 ans. (43) Dans la vallée les effectifs étant faibles, une limite à 15 ans nous semble être plus pertinente. Concernant les admissions pour pathologies respiratoires des enfants de moins de 15 ans la médiane était à 0 (25ème, 75ème centile, 0-1).

Dans les autres études, les liens semblent être plus robustes chez les plus de 65 ans concernant les pathologies cardiorespiratoires. Les effectifs des patients de plus de 65 ans sont également limités. Pour les événements cardiovasculaires la médiane était à 1 (25ème, 75ème centile, 0-1) et pour les événements respiratoires à 1 (25ème, 75ème centile, 0-2).

B. Evaluation de l'exposition à la pollution atmosphérique

L'exposition de la population a été estimée à partir de la moyenne des taux des différents polluants dans les trois stations de la vallée. Ceci ne permet pas de prendre en compte les variations qui peuvent être conséquentes au sein de la vallée. La topographie du territoire entraîne des variations de l'exposition aux polluants (variation avec les obstacles géographiques, l'altitude d'exposition, la proximité des axes routiers...). On ne peut pas superposer l'exposition d'une personne au taux mesuré à la station la plus proche. Les stations de Sallanches/Passy/Chamonix ont des variations grossièrement synchrones mais il existe des différences lorsqu'on étudie chaque polluant individuellement. Le choix de réaliser une moyenne des taux journaliers introduit une variabilité dans l'estimation de l'exposition aux différents polluants.

Certaines données manquantes concernant les PM_{10} ne permettent pas de réaliser la moyenne sur les 3 stations. Le taux de PM_{10} pris en compte est uniquement celui de la station de Chamonix. Dans la vallée les niveaux de PM_{10} sont en général plus élevés à Passy. Le manque de données sur la station de Passy ne permettant pas de réaliser une moyenne sous-estime les taux de PM_{10} . Pour les autres polluants (NO_2 , NO et O_3) les données étaient suffisantes pour réaliser une moyenne sur les 3 stations de la vallée. Ceci induit une méthodologie différente en fonction du polluant considéré. Pour harmoniser l'analyse on peut espérer diminuer le pourcentage de données manquantes en augmentant la durée de l'étude pour pouvoir intégrer les stations de Passy et des Bossons dans la moyenne du taux de PM_{10} . Si cela n'est pas réalisable, l'analyse pourrait être réalisée uniquement sur la station de Chamonix pour les 4 polluants afin d'avoir une méthodologie identique pour tous les polluants.

Les publications actuelles utilisent régulièrement les $PM_{2,5}$, celle-ci pénètrent plus profondément dans l'arbre pulmonaire et ont des conséquences plus importantes que les particules plus grossières. Dans la vallée de l'Arve les données ne sont pas assez anciennes pour permettre de les intégrer dans le modèle.

Une étude réalisée à Baltimore suggère que le NO_2 est un bon indicateur de l'exposition individuelle aux particules (plus sensible que les niveaux de $PM_{2,5}$ eux-mêmes). (44)

Il serait un meilleur indicateur des risques pour la santé probablement parce qu'il serait émis en même temps que d'autres substances toxiques non prises en compte dans la plupart des études (les COV, les aldéhydes et les particules organiques).

C. Indicateur de santé

L'utilisation de données hospitalières permet une étude rétrospective sur plusieurs années avec une base de données de qualité, complète et uniforme.

Ceci ne permet pas de prendre en compte les consultations réalisées en cabinet de médecine générale. De nombreux patients consultent dans ces cabinets. D'autant plus en période d'hiver où les urgences de Sallanches subissent un afflux important de patients liés à l'activité touristique. La distribution des services de soins est particulière en zone montagneuse touristique. Les cabinets de médecine de montagne ont un champ d'activité plus large qu'en ville.

La maison médicale de garde est située au sein de l'hôpital de Sallanches depuis 2004. Elle est ouverte les week-ends et les soirs entre 19 heures et 23 heures. La permanence est réalisée par un médecin généraliste, les données de ces consultations sont propres à chaque praticien. La maison est ouverte tous les jours limitant les variations de fréquentation.

Les pathologies retrouvées aux urgences ne permettent pas de prendre en compte les pathologies aux conséquences moins « grave » mais plus fréquentes. Ceci sous-estime l'impact à court terme de la pollution atmosphérique.

L'étude d'impact sanitaire réalisée dans l'agglomération d'Annecy entre 2009 et 2011 concernait 135 000 habitants. Cette zone est moins concernée par les pics de pollution que la vallée de l'Arve. La simulation concernant les effets à court terme estimait qu'en respectant les valeurs guides de l'OMS pour les PM₁₀ permettrait d'éviter 7 décès par an et 23 hospitalisations.

Certaines pathologies sont d'étiologie mixte pouvant induire un biais de classement. Elles peuvent être secondaires à une infection virale et aggravé par la pollution atmosphérique. La classification est variable selon les études.

La pneumopathie infectieuse (Code CIM-10: J18.8) a été classée dans le groupe pathologie respiratoire. Elle est induite par un agent infectieux mais la pollution atmosphérique est considérée comme un facteur aggravant. La plupart des études réalisées sur les admissions aux urgences la classaient dans les pathologies respiratoires plutôt que dans les pathologies infectieuses. (45,43,46)

La bronchiolite (Code CIM-10: J21.9) est une affection virale respiratoire des petites bronches. Elle survient surtout en hiver, liée dans 60 à 90% des cas au Virus Respiratoire Syncytial (VRS). Les polluants atmosphériques peuvent générer ou aggraver une bronchiolite. Elle a été prise en compte dans les pathologies respiratoires comme dans plusieurs études réalisées sur les admissions hospitalières. (47)

D. Facteurs de confusion

1. Tourisme

L'introduction de données touristiques dans le modèle est un point fort de l'étude. La base de données comprend les nuitées journalières, marchandes et non marchandes, sur 14 communes.

La vallée de l'Arve est une zone touristique importante avec plus de 200 000 lits touristiques. Ceci entraîne des variations importantes de la population exposée à la pollution atmosphérique et ayant recours aux structures de soin de la vallée. L'intégration de ce paramètre dans la série temporelle est innovante. Ce modèle pourrait être utilisé pour étudier l'impact de la pollution dans des régions touristiques avec des effectifs plus importants pour obtenir une puissance statistique suffisante.

2. Offre de soin sur le territoire

La clinique de l'Espérance à Cluses a fermé son service de soins d'urgence le 14 mars 2013, soit pendant la période d'étude. Une variable binaire (clinique ouverte avant cette date/clinique fermée après) a été introduite dans le modèle pour prendre en compte la modification de l'offre de soin sur le territoire. L'influence de l'activité d'urgence de cet établissement semble assez limitée puisque ce service avait une activité à 94% de CCMU 1 et 2 contre 70 à 75% pour un service d'urgences.

CLASSIFICATION CCMU :

CCMU 1 : Etat lésionnel ou pronostic vital jugé stable et abstention d'acte complémentaire diagnostique ou thérapeutique aux urgences.

CCMU 2 : Etat lésionnel ou pronostic fonctionnel jugé stable et décision d'acte complémentaire diagnostique ou thérapeutique aux urgences.

CCMU 3 : Etat lésionnel ou pronostic fonctionnel jugé susceptible de s'aggraver dans l'immédiat, il n'engage pas le pronostic vital et la décision d'acte diagnostique ou thérapeutique aux urgences.

CCMU 4 : Situation pathologique engageant le pronostic vital et dont la prise en charge ne nécessite pas de manœuvres de réanimation aux urgences.

CCMU 5 : Situation pathologique engageant le pronostic vital et dont la prise en charge comporte la pratique de manœuvres de réanimation.

Le CHIAB (Centre Hospitalier Intercommunal Annemasse Bonneville) est devenu en février 2012 le CHAL (Centre Hospitalier Alpes Léman). Cette donnée n'a pas été introduite dans le modèle. Il s'agit d'un changement de structure sans modification de l'offre de soin et concernant la partie basse de la vallée.

3. Graminées

Les données polliniques n'ont pas été introduites dans le modèle. Le capteur le plus proche (Lanzoni) se situe à Annemasse à une altitude de 481 mètres. Sallanches, située en fond de vallée, est à 550 mètres d'altitude et Chamonix à 1 035 mètres. L'altitude moyenne de la vallée se situe bien au-dessus de l'altitude du capteur de Lanzoni. La pollinisation est dépendante de l'altitude et des conditions météorologiques. La station de

mesure reçoit des pollens distants de plusieurs kilomètres. Les zones de provenance des pollens qui atteignent la station varient avec les conditions météorologiques (principalement le vent). Le capteur d'Annemasse ne paraît pas représentatif de l'exposition aux graminées dans la vallée de l'Arve et n'a pas été introduit dans la série temporelle. A ce jour aucune solution satisfaisante n'a été trouvée pour limiter ce biais.

4. Météorologie

La prise en compte des variations de température et d'humidité est un point fort de l'étude. La base de données est de bonne qualité.

Les facteurs météorologiques sont impliqués dans la genèse ou l'aggravation de pathologies respiratoires et cardiovasculaires. La prise en compte de ces données diminue fortement ce biais de confusion.

5. Epidémiologie

La saison hivernale est propice aux épidémies, notamment l'épidémie grippale. Les périodes froides favorisent l'accumulation de polluants par augmentation des sources et diminution des phénomènes de dispersion. Ceci représente un facteur de confusion. Les données des urgences permettraient d'introduire cette variable dans le modèle.

6. Facteurs individuels

Les variations d'exposition individuelle sont notamment liées à la qualité de l'air intérieur. La présence de systèmes de chauffage parfois défectueux entraîne une exposition aux polluants via un air intérieur vicié. Le tabagisme constitue également un facteur d'exposition individuel aux polluants.

Ce type d'étude induit un biais d'agrégation, les individus présentant la pathologie corrélée ne sont pas nécessairement ceux qui ont été exposés.

Thèse soutenue par : Julie PAGET

Titre : Pollution atmosphérique dans la vallée de l'Arve et admissions aux urgences de l'hôpital de Sallanches: méthodologie d'une analyse de séries temporelles

VII. Conclusion

La pollution atmosphérique est un problème de santé publique dont les effets sur la santé s'observent à court, moyen et long terme. Les valeurs guides de l'OMS et les valeurs réglementaires françaises sont régulièrement dépassés dans la vallée de l'Arve. Pour les particules en suspension d'un diamètre inférieur à 10μ (les PM_{10}), la vallée est la zone de la région Rhône-Alpes où le dispositif préfectoral est le plus souvent activé pour dépassements des seuils d'alerte et d'information (devant Lyon et Grenoble).

Jusqu'à présent aucune étude n'a été réalisée pour quantifier l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans la vallée.

L'objectif de la thèse était d'étudier la faisabilité et définir la méthodologie d'une étude (des effets à court terme) de la pollution atmosphérique en tenant compte des spécificités de la vallée de l'Arve. Celles-ci étaient le faible bassin de population (108 573 habitants en 2015) et les variations saisonnières de la taille de la population du fait de la forte activité touristique.

La méthodologie proposée est une analyse par séries temporelles des données d'admissions aux urgences de Sallanches. La période d'étude était 2007-2015, pour laquelle les données d'admission journalières, en se focalisant sur les pathologies pour lesquelles un effet des polluants atmosphériques est a priori le plus plausible (pathologies respiratoire, cardiovasculaires et neurovasculaires. Classées selon la CIM-10).

Les taux de polluants (PM_{10} , NO, NO_2 , et l'ozone O_3), pour lesquels les données journalières sur la période d'étude ont été recueillies auprès du réseau de surveillance de la qualité de l'air. Le nombre de nuitées touristiques a été recueilli auprès de Savoie Mont Blanc Tourisme, et nous proposons de les prendre en compte comme facteur d'ajustement dans l'analyse par séries temporelles pour corriger les fluctuations hebdomadaires de la taille de la population à risque. Les données météorologiques ont été recueillies auprès de Météo-France. La distribution des événements de santé a été

Concernant les admissions pour motif cardiovasculaire et neurovasculaire, le nombre d'évènements journaliers étaient en médiane 1 (25^{ème}, 75^{ème} centile, 0-2) et 0 (25^{ème}, 75^{ème} centile, 0-1). Selon une analyse d'étude de l'InVS en dessous de 5 admissions par jour aux urgences pour motif cardiovasculaire les résultats obtenus sont ininterprétables. Concernant les admissions pour motif respiratoire, le nombre médian d'évènements était de 2 (25^{ème}, 75^{ème} centile, 1-4)

Ce travail met en évidence les difficultés liées à l'étude de la pollution dans les vallées alpines et celle de l'Arve en particulier. La zone restreinte et la densité de population faible ne permettent pas d'avoir des effectifs suffisants pour obtenir une puissance statistique permettant une analyse fiable des effets à court terme de la pollution atmosphérique, au moins sur les admissions pour motif cardio- et neurovasculaire.

L'intégration des données touristiques dans le modèle statistique est innovante. Cette approche pourrait permettre de réaliser des études de série temporelles des effets à court terme de la pollution atmosphérique dans des zones touristiques avec une population élevée, permettant d'avoir une puissance statistique satisfaisante.

Concernant la vallée de l'Arve, notre modèle est pertinent mais la puissance statistique insuffisante. Augmenter la période d'étude permettrait un gain de puissance, mais avec un impact limité dans l'immédiat car les données hospitalières et de pollution ne sont disponibles qu'à partir d'avril 2006 (soit un gain d'environ 15 mois de suivi par rapport à ce qui est disponible actuellement, en intégrant aussi les données du premier semestre 2016).

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le 25/08/16

LE DOYEN
PROFESSEUR J.P. ROMANET

LE PRESIDENT DE LA THESE
PROFESSEUR J.L. BOSSON

Pour la Présidente
et par délégation
Le Doyen de Médecine
Pr. Jean-Paul ROMANET



VIII. Lexique

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air

ACFA : Arythmie Complète par Fibrillation Auriculaire

AIT : Accident Ischémique cérébral Transitoire

AVC : Accident Vasculaire cérébral Ischémique

BaP : Benzo(a)pyrène

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

CHAL : Centre Hospitalier Alpes-Léman

CIM-10 : Classification Internationale des Maladies 10^{ème} révision

CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

CO : Monoxyde de Carbone

CO₂ : Dioxyde de Carbone

COV : Composés Organiques Volatiles

COVNM : Composés Organiques Volatil Non Méthaniques

CRP : C-Réactive Protéine

DOW : Day Of the Week

ERO : Espèces Réactives de l'Oxygène

GLM : Modèle Linéaire Généralisé

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

HAP : Hydrocarbure Aromatique Monocyclique

HPMB : les Hôpitaux du Pays du Mont-Blanc

JO : Jeux Olympiques

LBA : Lavage Broncho-Alvéolaire

NCA : pathologie Non Classée Ailleurs dans la classification CIM-10

NO₂ : Dioxyde d'Azote

NO_x : Oxydes d'Azote

O₂ : Dioxygène

OAP : Œdème Aigu du Poumon

Objectif de qualité : Niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble

PM : Particules Fines

PM₁₀ : Particules fines dun diamètre inférieur à 10 microns

PM_{2,5} : Particules fines d'un diamètre inférieur à 2.5 microns

PPA : Plan de Protection de l'Atmosphère

Ppb : Partie par milliard

PNN : PolyNucléaires Neutrophiles

Pollution photochimique/photo-oxydante : Causée par la transformation de polluants primaires, de précurseurs chimiques, en espèces oxydantes sous l'effet des rayonnements solaires

SCA : Syndrome Coronarien Aigu

Secteur d'activité : Entreprises de fabrication, de commerce ou de service qui ont la même activité principale (au regard de la nomenclature d'activité économique considérée)

Secteur primaire : Activités liées à l'exploitation de ressources naturelles : agriculture, sylviculture, pêche et activités minières. Ensemble des activités qui produisent des matières premières non transformées

Secteur secondaire : Regroupe l'ensemble des activités consistant en une transformation plus ou moins élaborée des matières premières (industries manufacturières, construction)

Secteur tertiaire : Toutes les activités économiques qui ne font pas partie du secteur primaire ou du secteur secondaire

Seuil d'alerte : Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence

Seuil d'information et de recommandation: Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaire l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions

SO₂ : Dioxyde de Souffre

Valeur cible : Niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble

Valeur limite : Niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble

IX. Bibliographie

1. LOI n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. 96-1236 déc 30, 1996.
2. OMS | Pollution de l'air [Internet]. WHO. [cité 7 févr 2016]. Disponible sur: http://www.who.int/topics/air_pollution/fr/
3. Nemery B, Hoet PH, Nemmar A. The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. *The Lancet*. mars 2001;357(9257):704-8.
4. Bell ML, Davis DL, Fletcher T. A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952: the role of influenza and pollution. *Environ Health Perspect*. janv 2004;112(1):6-8.
5. Bell ML, Davis DL. Reassessment of the lethal London fog of 1952: novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. *Environ Health Perspect*. juin 2001;109(Suppl 3):389-94.
6. OMS | 7 millions de décès prématurés sont liés à la pollution de l'air chaque année [Internet]. WHO. [cité 15 févr 2016]. Disponible sur: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/fr/>
7. Sandstrom T. Respiratory effects of air pollutants: experimental studies in humans. *Eur Respir J*. 1995;8(6):976–995.
8. Ghio AJ, Kim C, Devlin RB. Concentrated ambient air particles induce mild pulmonary inflammation in healthy human volunteers. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;162(3):981–988.
9. Urch B, Silverman F, Corey P, Brook JR, Lukic KZ, Rajagopalan S, et al. Acute Blood Pressure Responses in Healthy Adults During Controlled Air Pollution Exposures. *Environ Health Perspect*. 19 mai 2005;113(8):1052-5.
10. Baeza A, Marano F. Pollution atmosphérique et maladies respiratoires: Un rôle central pour le stress oxydant. *médecine/sciences*. mai 2007;23(5):497-501.
11. Wilson M. Interactions between Ultrafine Particles and Transition Metals in Vivo and in Vitro. *Toxicol Appl Pharmacol*. 1 nov 2002;184(3):172-9.
12. Simkhovich BZ, Kleinman MT, Kloner RA. Air Pollution and Cardiovascular Injury. *J Am Coll Cardiol*. août 2008;52(9):719-26.
13. Nemmar A, Hoet PM, Vanquickenborne B, Dinsdale D, Thomeer M, Hoylaerts MF, et al. Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation*. 2002;105(4):411–414.
14. Newby DE, Mannucci PM, Tell GS, Baccarelli AA, Brook RD, Donaldson K, et al. Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease. *Eur Heart J*. 2 janv 2015;36(2):83-93.
15. Institut de veille sanitaire (France). Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011: des clés pour mieux comprendre les impacts de la pollution

atmosphérique urbaine sur la santé en Europe. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2012.

16. Angela Vigotti M, Chiaverini F, Biagiola P, Rossi G. Urban Air Pollution and Emergency Visits for Respiratory Complaints in Pisa, Italy. *J Toxicol Environ Health A*. févr 2007;70(3-4):266-9.
17. Peel JL, Tolbert PE, Klein M, Metzger KB, Flanders WD, Todd K, et al. Ambient Air Pollution and Respiratory Emergency Department Visits: *Epidemiology*. mars 2005;16(2):164-74.
18. Max A, Duchateau F-X, Beaune S, Burnod A, Ricard-Hibon A, Juvin P, et al. La pollution atmosphérique entraîne-t-elle un accroissement des interventions pour affections respiratoires dans les SMUR ? *J Eur Urgences*. mai 2007;20(1, Supplement):11.
19. Shah AS, Langrish JP, Nair H, McAllister DA, Hunter AL, Donaldson K, et al. Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet*. 2013;382(9897):1039–1048.
20. Article - Bulletin épidémiologique hebdomadaire [Internet]. [cité 16 mai 2016]. Disponible sur: http://www.invs.sante.fr/beh/2015/1-2/2015_1-2_3.html
21. INVS-Extrapol_29 - 20_24_Metzger.pdf [Internet]. [cité 18 juin 2016]. Disponible sur: http://www.invs.sante.fr/publications/extrapol/35/20_24_Metzger.pdf
22. Feigin VL, Roth GA, Naghavi M, Parmar P, Krishnamurthi R, Chugh S, et al. Global burden of stroke and risk factors in 188 countries, during 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet Neurol* [Internet]. juin 2016 [cité 12 juin 2016]; Disponible sur: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474442216300734>
23. Friedman MS, Powell KE, Hutwagner L, Graham LM, Teague W. IMpact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 summer olympic games in atlanta on air quality and childhood asthma. *JAMA*. 21 févr 2001;285(7):897-905.
24. synth_bilan_erpurs_v6:modele_6pages.qxd.qxd - synth_bilan_20ans_erpurs_2014_web.pdf [Internet]. [cité 12 mai 2015]. Disponible sur: http://www.ors-idf.org/dmdocuments/2014/synth_bilan_20ans_erpurs_2014_web.pdf
25. Campagna D, Lefranc A, Nunes-Odasso C, Ferry R. Évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé en Île-de-France (erpurs) : liens avec la mortalité 1987-1998. *VertigO - Rev Électronique En Sci Environ* [Internet]. 1 mai 2003 [cité 5 juin 2016];(Volume 4 Numéro 1). Disponible sur: <https://vertigo.revues.org/4637>
26. Programme de Surveillance Air et Santé 9 villes [Internet]. [cité 3 mars 2016]. Disponible sur: <http://www.nchh.org/Portals/0/Contents/Article0110.pdf>

27. Bell ML, Ebisu K, Peng RD, Walker J, Samet JM, Zeger SL, et al. Seasonal and Regional Short-term Effects of Fine Particles on Hospital Admissions in 202 US Counties, 1999–2005. *Am J Epidemiol*. 1 déc 2008;168(11):1301-10.
28. ppa-2012-vallee-de-l-arve.pdf.
29. rapport_erpurs_particules - erpurs_rapport_particules.pdf [Internet]. [cité 4 juin 2016]. Disponible sur: http://www.ors-idf.org/dmdocuments/erpurs_rapport_particules.pdf
30. World Health Organization, éditeur. Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. Copenhagen, Denmark: World Health Organization; 2006. 484 p.
31. Schwartz J. Air Pollution and Children's Health. *Pediatrics*. 1 avr 2004;113(Supplement 3):1037-43.
32. Oiamo T, Luginaah I. Extricating Sex and Gender in Air Pollution Research: A Community-Based Study on Cardinal Symptoms of Exposure. *Int J Environ Res Public Health*. 22 août 2013;10(9):3801-17.
33. MD DJG-C, MSc BC, PhD AL, I. Gremy PhD M. Air Pollution and Respiratory Hospital Admissions in Greater Paris: Exploring Sex Differences. *Arch Environ Occup Health*. 1 nov 2005;60(6):307-13.
34. Peel JL, Metzger KB, Klein M, Flanders WD, Mulholland JA, Tolbert PE. Ambient Air Pollution and Cardiovascular Emergency Department Visits in Potentially Sensitive Groups. *Am J Epidemiol*. 12 janv 2007;165(6):625-33.
35. Atkinson RW, Ross Anderson H, Sunyer J, Ayres JON, BACCINI M, VONK JM, et al. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;164(10):1860–1866.
36. Aga E, Samoli E, Touloumi G, Anderson HR, Cadum E, Forsberg B, et al. Short-term effects of ambient particles on mortality in the elderly: results from 28 cities in the APHEA2 project. *Eur Respir J*. 1 mai 2003;21(Supplement 40):28S-33s.
37. Air Rhône-Alpes [Internet]. Air Rhône-Alpes. [cité 28 févr 2016]. Disponible sur: <http://www.air-rhonealpes.fr/>
38. Les flux touristiques - La méthode des flux [Internet]. [cité 23 févr 2016]. Disponible sur: <http://www.flux-touristiques.com/index.php?choix=111>
39. Nawrot TS, Torfs R, Fierens F, De Henauw S, Hoet PH, Van Kersschaever G, et al. Stronger associations between daily mortality and fine particulate air pollution in summer than in winter: evidence from a heavily polluted region in western Europe. *J Epidemiol Community Health*. févr 2007;61(2):146-9.
40. Influence de la saison et des épisodes de fortes chaleurs sur les liens entre ozone, particules et mortalité dans neuf villes françaises [Internet]. [cité 7 juin 2016]. Disponible sur: http://opac.invs.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=9635

41. Climat, météo et santé - 270080_1climat20.pdf [Internet]. [cité 7 juin 2016]. Disponible sur: http://www.orsnpdc.org/wp-content/uploads/2015/02/270080_1climat20.pdf
42. Eilstein D, Zeghnoun A, Le Tertre A, Cassadou S, Declercq C, Filleul L, et al. Modélisation des liens à court terme entre la pollution atmosphérique et la santé: une actualisation des méthodes d'analyse des séries temporelles. *Rev Dépidémiologie Santé Publique*. 2004;52(6):583–589.
43. Winquist A, Klein M, Tolbert P, Flanders WD, Hess J, Sarnat SE. Comparison of emergency department and hospital admissions data for air pollution time-series studies. *Env Health*. 2012;11(1):70.
44. Schwartz J, Sarnat JA, Coull BA, Wilson WE. Effects of exposure measurement error on particle matter epidemiology: a simulation using data from a panel study in Baltimore, MD. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2007;17(S2):S2-10.
45. Shahi AM, Omraninava A, Goli M, Soheilarezoomand HR, Mirzaei N. The Effects of Air Pollution on Cardiovascular and Respiratory Causes of Emergency Admission. *Emergency*. 2014;2(3):107-14.
46. Santus P, Russo A, Madonini E, Allegra L, Blasi F, Centanni S, et al. How air pollution influences clinical management of respiratory diseases. A case-crossover study in Milan. *Respir Res*. 2012;13(1):95.
47. Observatoire régional de santé (Île-de-France), Chatignoux É, Host S. Expositions à la pollution atmosphérique et recours aux urgences pour pathologies respiratoires chez les enfants en Île-de-France. Paris: ORS Île-de-France; 2013.

Annexe 1 : Normes françaises de qualité de l'air (MAJ 8/04/2015)

DIOXYDE d'AZOTE (NO₂)			
Objectif de qualité	40 µg/m ³	en moyenne annuelle civile	
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine	200 µg/m ³	en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile	
	40 µg/m ³	en moyenne annuelle civile	
Niveau critique annuel d'oxydes d'azote pour la protection de la végétation	30 µg/m ³	en moyenne annuelle civile	
Seuil de recommandation et d'information	200 µg/m ³	en moyenne horaire	
Seuils d'alerte	400 µg/m ³	en moyenne horaire dépassé pendant 3 heures consécutives	
	ou si 200 µg/m ³ en moyenne horaire à J-1 et à J, et prévision de 200 µg/m ³ à J+1		
OZONE (O₃)			
Objectif de qualité pour la protection de la santé	120 µg/m ³	pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures pendant une année civile	
Objectif de qualité pour la protection de la végétation	6 000 µg/m ³ .h	en AOT40, calculée à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet	
Valeur cible pour la protection de la santé humaine	120 µg/m ³	maximum journalier de la moyenne sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile (en moyenne sur 3 ans)	
Valeur cible pour la protection de la végétation	18 000 µg/m ³ .h	en AOT40, calculée à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet (en moyenne sur 5 ans)	
Seuil de recommandation et d'information	180 µg/m ³	en moyenne horaire	
Seuil d'alerte	240 µg/m ³	en moyenne horaire	
Seuils d'alerte pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence	1er seuil : 240 µg/m ³	moyenne horaire pendant 3 heures consécutives	
	2 ^e seuil : 300 µg/m ³	moyenne horaire pendant 3 heures consécutives	
	3 ^e seuil : 360 µg/m ³	en moyenne horaire	
MONOXYDE de CARBONE (CO)			
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	10 mg/m ³ soit 10 000 µg/m ³	pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures	

PARTICULES (PM₁₀)			
Objectif de qualité	30 µg/m ³	en moyenne annuelle civile	
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine	50 µg/m ³	en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 fois par an	
	40 µg/m ³	en moyenne annuelle civile	
Seuil de recommandation et d'information	50 µg/m ³	en moyenne journalière selon modalités de déclenchement par arrêté du ministre chargé de l'environnement	
Seuil d'alerte	80 µg/m ³	en moyenne journalière selon modalités de déclenchement par arrêté du ministre chargé de l'environnement	
DIOXYDE de SOUFRE (SO₂)			
Objectif de qualité	50 µg/m ³	en moyenne annuelle civile	
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine	350 µg/m ³	en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile	
	125 µg/m ³	en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 fois par année civile	
Niveau critique pour la protection de la végétation	20 µg/m ³	en moyenne annuelle civile et en moyenne sur la période du 1er octobre au 31 mars	
Seuil de recommandation et d'information	300 µg/m ³	en moyenne horaire	
Seuil d'alerte	500 µg/m ³	en moyenne horaire pendant 3 heures consécutives	
BENZÈNE			
Objectif de qualité	2 µg/m ³	en moyenne annuelle civile	
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	5 µg/m ³	en moyenne annuelle civile	
BENZO(A)PYRÈNE			
Valeur cible à compter de 2013	1 ng/m ³	en moyenne annuelle du contenu total de la fraction PM ₁₀	
MÉTAUX LOURDS			
Objectif de qualité		0.25 µg/m ³	en moyenne annuelle civile
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	Plomb (Pb)	0,5 µg/m ³	en moyenne annuelle civile
	Arsenic (As)	6 ng/m ³	en moyenne annuelle du contenu total de la fraction PM ₁₀
	Cadmium (Cd)	5 ng/m ³	
Nickel (Ni)	20 ng/m ³		

Normes et valeurs limites - Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer [Internet]. [cited 2016 Feb 20]. Available from: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Normes-et-valeurs-limites.html>

Annexe 2 : Liste des codes CIM retenus

a) Pathologies respiratoires

J44.1 :

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : BPCO

Définition CIM-10 : Maladie pulmonaire obstructive chronique avec épisodes aigus

J98.9 :

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Maladie respiratoire décompensée

Définition CIM-10 : Trouble respiratoire, sans précision

J96.1

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Insuffisance respiratoire décompensée

Définition CIM-10 : Insuffisance respiratoire chronique

J45.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Asthme

Définition CIM-10 : Asthme

J46

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Asthme grave

Définition CIM-10 : Etats de mal asthmatique

J18.8

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Pneumopathie infectieuse

Définition CIM-10 : Pneumopathies, micro-organisme non précisé

J20.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Bronchite aiguë

Définition CIM-10 : Bronchite aiguë

J21.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Bronchiolite

Définition CIM-10 : Bronchiolite aiguë

R05

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Toux

Définition CIM-10 : toux

J98.0

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Bronchospasme

Définition CIM-10 : Affections des bronches

b) Pathologies cardiovasculaires

I50.1

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : OAP cardiogénique

Définition CIM-10 : Insuffisance cardiaque gauche

I50.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Insuffisance cardiaque

Définition CIM-10 : Insuffisance cardiaque

R57.0

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Choc cardiogénique

Définition CIM-10 : Choc cardiogénique

I20.0

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : SCA (angor instable)

Définition CIM-10 : Angor instable

I20.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Angor

Définition CIM-10 : Angor

c) Pathologies neurovasculaires

G45.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Accident Ischémique Transitoire

Définition CIM-10 : Accident Ischémique cérébral Transitoire

I61.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : AVC hémorragique

Définition CIM-10 : Hémorragie intracérébrale

G45.8

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : AVC ischémique

Définition CIM-10 : Accidents Ischémiques Cérébraux transitoires et syndromes apparentés

I60.8

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Hémorragie méningée

Définition CIM-10 : Autres hémorragies sous-arachnoïdiennes

d) Épidémiologie

J04.0

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Laryngite

Définition CIM-10 : Laryngite

J09

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Grippe

Définition CIM-10 : Grippe, à certains virus grippaux identifiés

Annexe 3 : Description de la base de données médicales

a) Pathologies respiratoires

J44.1 :

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **BPCO**

Définition CIM-10 : Maladie pulmonaire obstructive chronique avec épisodes aigus

◦Bronchopneumopathie (aiguë) (bilatérale) (purulente) (septique) chronique obstructive avec épisode aigu

◦Maladie pulmonaire chronique obstructive avec épisode aigu

◦Obstruction (de) poumon maladie chronique avec épisodes aigus NCA (pathologie non classée ailleurs dans la classification CIM-10)

◦Obstruction (de) voies respiratoires chronique avec épisode aigu

Effectif : 839

Observations médicales : La majorité des patients ont un antécédent de BPCO connu (parfois insuffisants respiratoires) et une consommation tabagique active ou sevrée. Il s'agit en général d'un diagnostic clinique (anamnèse et clinique typique, auscultation spastique avec ronchis) associé à un terrain typique. Ils étaient apyrétiques ou subfébriles.

La plupart des patients ont bénéficié d'un bilan radiologique à la recherche d'un foyer de pneumopathie qui était retenu pour certains patients.

Un bilan biologique retrouvait parfois un syndrome inflammatoire mais avait peu de conséquences diagnostics. En règle générale, il était réalisé chez des patients avec des comorbidités et/ou présentant des signes de mauvaise tolérance à la recherche de signes de gravité et/ou pathologies intercurrentes.

J98.9 :

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Maladie respiratoire décompensée**

Définition CIM-10 : Trouble respiratoire, sans précision.

◦Maladie respiratoire (chronique)

◦Affection respiratoire

◦Inflammation (de) poumon chronique

◦Maladie appareil respiratoire NCA

◦Maladie respiratoire

◦Maladie respiratoire chronique NCA

◦Maladie voies respiratoires

◦Maladie voies respiratoires chronique NCA

◦Trouble(s) (de) respiratoires

Effectif : 60

Observations médicales : Les patients présentaient des pathologies respiratoires chroniques variées (néoplasie, insuffisance respiratoire sur fibrose idiopathique, sarcoidose, maladie de Wegner, syndrome des ongles jaunes...). Les facteurs de décompensation étaient également divers (toux, anxiété...) mais plusieurs dossiers retrouvent une cause cardiaque sous-jacente (ACFA et OAP).

Les patients avaient entre 56 et 90 ans, un seul patient était très jeune (23 ans, la pathologie sous-jacente était une coqueluche).

J96.1

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Insuffisance respiratoire décompensée**
(description DMU comme épisode aigu d'une pathologie chronique)

Définition CIM-10 : Insuffisance respiratoire chronique

- Insuffisance pulmonaire chronique
- Insuffisance respiratoire chronique

Effectif : 217

Observations médicales : Les dossiers étaient relativement similaires au codage précédent (J98.9 : maladie respiratoire décompensée). Les pathologies de fond étaient tout aussi variées (dilatation des bronches, silicose, néoplasie, BPCO emphysémateuse, séquelles de tuberculose...).

Les patients étaient plus fréquemment sous oxygénothérapie longue durée mais pas de manière constante. De même il existait régulièrement une part cardiaque à ces décompensations. La majorité des patients avaient 70-80 ans, le plus jeune avait 52 ans.

J45.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Asthme**

Définition CIM-10 : Asthme

- Asthme tardif
- Bronchite asthmatique SAI
- Asthme (bronchique)
- Asthme (bronchique) tardif
- Bronchite (avec trachéite) (diffuse) (infectieuse) (supérieure à 15 ans) asthmatique
- Dyspnée asthmatique, asthmatiforme (bronchique)

Effectif : 1417

Observations médicales : La plupart des patients avaient un antécédent d'asthme connu ou un terrain atopique. Le délai de consultation aux urgences était en général court mais pouvait atteindre quelques jours avec une consultation aux urgences faisant suite à un mauvais contrôle à domicile dans les jours précédents.

La clinique est assez homogène : dyspnée sifflante quasi-constante, parfois associée à une toux, une rhinite ou un fébricule. En général, les aérosols entraînaient une amélioration des symptômes.

On retrouve un pic de fréquence entre 1 et 20ans.

J46

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Asthme grave**

Définition CIM-10 : Etats de mal asthmatique

- Asthme grave aigu
- Asthme (bronchique) avec état de mal
- Asthme (bronchique) grave aigu
- Etat de mal asthmatique
- Status asthmaticus

Effectif : 66

Observations médicales : Beaucoup de patients étaient asthmatiques avec un traitement de fond ou avec un antécédent d'asthme grave. Ils se présentaient aux urgences avec une dyspnée sifflante. Pour la plupart, ils avaient déjà pris leur traitement habituel avant d'être admis. Ils recevaient en général un traitement par aérosols et corticoïdes (parfois sulfate de magnésium, salbutamol intra-veineux et prise en charge en réanimation, mais non systématique).

J18.8

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Pneumopathie infectieuse**

Définition CIM-10 : Pneumopathies, micro-organisme non précisé

- Pleuropneumonie (aiguë) (bilatérale) (septique)
- Pleuropneumopathie (aiguë) (bilatérale) (septique)
- Pneumopathie (aiguë) (double) (purulente) (septique) précisée NCA

Effectif : 3 380

Observations médicales : Le diagnostic clinique de pneumopathie était retenu sur le caractère asymétrique de l'auscultation (crépitations, bronchospasme...) associé à une température supérieur à 38°C, parfois une toux productive. Pour la plupart des patients, le diagnostic était conforté par l'association biologie (recherche d'un syndrome inflammatoire) et radiographie pulmonaire.

Certains patients avaient des facteurs favorisants : BPCO sous-jacente, insuffisance cardiaque, néoplasie, traumatisme costal...

J20.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Bronchite aiguë**

Définition CIM-10 : Bronchite aiguë

- Bronchite (avec trachéite) (diffuse) (infectieuse) (supérieur à 15 ans) aiguë ou subaiguë (moins de 15 ans) (avec bronchospasme) (fibrineuse) (membraneuse) (septique)
- Bronchite (avec trachéite) (diffuse) (infectieuse) (supérieure à 15 ans) Hoffmann
- Laryngotrachéobronchite (supérieur à 15 ans) aiguë
- Trachéo-bronchite (supérieur à 15 ans) aiguë ou subaiguë

Effectif : 882

Observations médicales : Le diagnostic était souvent clinique, rarement une biologie était associée. Elle était associée en général quand il existe un terrain particulier avec des comorbidités pouvant avoir un impact sur la prise en charge ou évoquant un diagnostic différentiel. En général, les symptômes correspondaient à des râles et une toux productive, parfois associés à une dyspnée ou une température >38°C.

J21.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Bronchiolite**

Définition CIM-10 : Bronchiolite aiguë

- Bronchiolite (aiguë)
- Bronchiolite (aiguë) (avec bronchospasme) (infectieuse) (subaiguë)
- Bronchite (avec trachéite) (diffuse) (infectieuse) (supérieure à 15 ans) capillaire
- Bronchopneumopathie (aiguë) (bilatérale) (purulente) (septique) (à) aiguë dyspnéisante
- Bronchospasme avec bronchiolite aiguë
- Laryngotrachéobronchiolite

Effectif : 888

Observations médicales : Le diagnostic est en général clinique : terrain (la majorité des patients a moins d'un an), épidémiologie (durant l'hiver, notion de contagion), anamnèse (rhinite, dyspnée), auscultation (crépitations, sous crépitations, wheezings, sibilants, râles). Leur température est en général entre 37.5 et 38°C, rarement supérieure à 39°C. 70% des patients ont été hospitalisés.

On trouve huit patients adultes, avec un diagnostic associé pour la plupart (bronchite, pneumopathie, fractures costales à J4, toux, dyspnée, bronchiolite sur l'imagerie, tuberculose, décompensation cardiaque).

R05

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Toux**

Définition CIM-10 : toux

- Toux productive
- Toux sèche
- Toux spasmodique

Effectif : 70

Observations médicales : Tous les dossiers ont été étudiés.

Les présentations cliniques étaient très variées : toux chronique/ aiguë, irritative/productive, rhinorrhée, laryngite, insuffisance cardiaque, fébrile/ aapyrétique, avec foyer auscultatoire ou non, réaction allergique, associée à des vomissements, bronchiolite, suite à une fausse route, au retour de voyage, coqueluche, dyspnée, acidocétose diabétique...

La toux est en général une cotation symptomatique associée à un diagnostic.

J98.0

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Bronchospasme**

Définition CIM-10 : Affections des bronches

- Broncholithiase
- Calcification - des bronches trachéo-bronchique
- Sténose - des bronches trachéo-bronchique
- Ulcère - des bronches trachéo-bronchique
- Collapsus - des bronches trachéo-bronchique
- Dyskinésie - des bronches trachéo-bronchique
- Abcès (embolique) (infectieux) (multiple) (pyogène) (septique) (de) bronchique
- Affection de bronches NCA
- Bronchomalacie
- Bronchorrhée
- Bronchospasme
- Bronchosténose
- Calcification de bronches
- Calcul (bloqué) bronchique
- Collapsus trachéo-bronchique
- Compression bronches
- Déformation (acquise) (système ostéo-articulaire) bronches
- Diverticule, diverticulite (aigu(ë)) (multiple) (de) bronches (congénital(e)) acquis(e)
- Dyskinésie trachéo-bronchique
- Erosion de bronches
- Maladie de bronches NCA
- Nécrose (ischémique) de bronches
- Obstruction de bronches
- Ossification (de) bronches
- Paralysie (de) bronches
- Péricondrite (de) bronches
- Spasme (de) bronches
- Stase bronchique
- Sténose (cicatricielle) (de) bronches
- Ulcère (de) bronches

Effectif : 11

Observations médicales : 11 patients entre 2006 et 2007, dont 10 enfants de moins de 7 ans.

En général codage symptomatique sans diagnostic précis, 2 dossiers avec un diagnostic proche de laryngite, la personne adulte venait pour une décompensation mal systématisée de pathologie respiratoire.

b) Pathologies cardiovasculaires (CVD : cardiovascular disease)

I50.1

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **OAP cardiogénique**

Définition CIM-10 : Insuffisance cardiaque gauche

- Asthme cardiaque
- Insuffisance cardiaque gauche
- Oedème aigu du poumon - avec mention de maladie cardiaque SAI ou d'insuffisance cardiaque
- Oedème pulmonaire aigu - avec mention de maladie cardiaque SAI ou d'insuffisance cardiaque
- Asthme (bronchique) cardiaque
- Asthme (bronchique) de Rostan
- Défaillance cardiaque gauche
- Défaillance de ventriculaire gauche
- Dyspnée asthmatique, asthmatiforme (bronchique) cardiaque
- Dyspnée cardiaque
- Insuffisance cardiaque (ventriculaire) avec oedème aigu du poumon
- Insuffisance cardiaque (ventriculaire) gauche
- Maladie (de) coeur (chronique) (organique) avec oedème aigu du poumon
- Oedème (dû à) poumon aigu avec maladie ou insuffisance cardiaque
- Pseudo-asthme cardiaque

Effectif : 1 217

Observations médicales : Globalement il s'agit d'une population âgée, seulement 10 patients ont moins de 50 ans. Le diagnostic est souvent clinique, basé sur des crépitations à l'auscultation pulmonaire associé parfois à des œdèmes des membres inférieurs. La plupart des patients ont soit un antécédents d'OAP, soit des antécédents cardiologiques évoquant un terrain à risque de décompensation cardiaque. Les examens paracliniques (BNP, ETT) paraissent secondaires pour conforter le diagnostic.

I50.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Insuffisance cardiaque**

Définition CIM-10 : Insuffisance cardiaque

- Insuffisance biventriculaire
- Insuffisance cardiaque ou myocardique SAI
- Asthénie cardiaque, cardio-vasculaire
- Collapsus cardiaque, aigu
- Collapsus (de) myocarde, aigu
- Crise cardiaque
- Défaillance cardiaque
- Défaillance cardiorénale (chronique)
- Défaillance (de) myocarde
- Insuffisance cardiaque (ventriculaire)
- Insuffisance cardiaque (ventriculaire) aiguë
- Insuffisance ventriculaire

Effectif : 1 140

Observations médicales : Les observations médicales sont assez proches de celles du fichier OAP cardiogénique avec une part plus importante de signes d'insuffisance cardiaque droite et des états d'anasarque. Les observations semblent en faveur d'une défaillance plus importante (plus de recours aux soins intensifs, fraction d'éjection effondrée et état d'anasarque).

R57.0

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Choc cardiogénique**

Définition CIM-10 : Choc cardiogénique

- Choc (non traumatique) cardiogénique
- Collapsus cardiogénique
- Collapsus cardiorespiratoire

Effectif : 42

Observations médicales: Les étiologies sous-jacentes au choc cardiogénique sont variables (infarctus du myocarde, septique, tachycardie ventriculaire, myocardiopathie...). Le pronostic est souvent réservé avec beaucoup de recours aux amines, transfert en réanimation et parfois décès.

I20.0

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **SCA (angor instable)**

Définition CIM-10 : Angor instable

- Angine accélérée
- Angine aggravée à l'effort
- Angine de novo à l'effort
- Syndrome (de) coronaire intermédiaire
- Syndrome (de) préinfarctus
- Angine (aiguë) (de) poitrine accélérée
- Angine (aiguë) (de) poitrine aggravée à l'effort
- Angine (aiguë) (de) poitrine de novo à l'effort
- Angine (aiguë) (de) poitrine instable
- Angor (pectoris) accéléré
- Angor (pectoris) aggravé à l'effort
- Angor (pectoris) de novo à l'effort
- Angor (pectoris) instable
- Syndrome coronarien intermédiaire
- Syndrome (de) préinfarctus (myocarde)

I20.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Angor**

Définition CIM-10 : Angor

- Angine de poitrine SAI
- Angine de poitrine cardiaque
- Douleur thoracique ischémique
- Syndrome angineux
- Angine (aiguë) (de) poitrine
- Angine (aiguë) (de) poitrine (de) décubitus
- Angor (pectoris)
- Angor (pectoris) de décubitus
- Douleur angineuse (angor)
- Douleur coronaire
- Douleur thoracique ischémique
- Syndrome angineux

Analyse couplée : I20.0+I20.9

Effectif : 731

Observations médicales: Le motif de recours est souvent une douleur thoracique (parfois précisée à gauche, constrictive ou avec irradiations). La majorité des patients a bénéficié d'un électrocardiogramme (+/-modification du segment ST, principalement sous décalage ST ou onde T négative) et d'un bilan biologique avec dosage des enzymes cardiaques (troponines élevées ou normales).

c) Pathologies neurovasculaires

G45.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Accident Ischémique Transitoire**

Définition CIM-10 : Accident ischémique cérébral transitoire

- Ischémie cérébrale transitoire SAI
- Spasme de l'artère cérébrale
- Accident ischémique cérébral transitoire
- Angiospasme cérébral
- Ischémie cérébrale (artérioscléreuse) (chronique) (généralisée) intermittente
- Ischémie cérébrale (artérioscléreuse) (chronique) (généralisée) spasmodique
- Ischémie cérébrale (artérioscléreuse) (chronique) (généralisée) transitoire
- Maladie angiospastique cérébrale
- Spasme (de) artère NCA cérébrale
- Spasme (de) cérébral vasculaire
- Spasme (de) vasculaire NCA cérébral
- Vasospasme (de) cérébral (artériel)

Effectif : 665

Observations médicales: La plupart des patients présentaient un déficit neurologique (moteur ou sensitif) transitoire constaté aux urgences ou rapporté avant l'arrivée. La majorité des patients ne présentaient plus de déficit à la sortie du service des urgences, 79% étaient hospitalisés pour bilan et/ou surveillance.

I61.9

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences: **AVC hémorragique**

Définition CIM-10 : Hémorragie intracérébrale

- Apoplexie hémorragique
- Encéphalorragie
- Hématome (traumatique) (sans plaie) (de) cerveau (traumatique) non traumatique
- Hémorragie (due à) apoplexie (attaque)
- Hémorragie (due à) cérébrale (miliaire) (non traumatique)
- Hémorragie (due à) cérébrospinale
- Hémorragie (due à) intracérébrale (non traumatique)
 - Ramollissement (de) cérébral hémorragique
- Rupture (de) artère cerveau

Effectif : 207

Observations médicales : La quasi-totalité des diagnostics sont secondaire à un examen paraclinique (scanner cérébral non injecté en général) qui pose le diagnostic de façon formelle.

G45.8

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences: AVC ischémique

Définition CIM-10 : Accidents ischémiques cérébraux transitoires et syndromes apparentés

- Accident ischémique cérébral transitoire (de) type précisé NCA et syndrome apparenté
- Insuffisance (de) artère, artérielle précérébrale NCA
- Insuffisance cérébrovasculaire (aiguë) avec signes neurologiques focaux et transitoires
- Syndrome (de) détournement de l'artère sous-clavière
- Syndrome (de) suppléance vertébro-sous-clavière

Effectif : 837

Observations médicales : La plupart des patients présentent un déficit neurologique permanent. En général un scanner est réalisé pour confirmation diagnostic (hypodensité non systématique) et recherche d'un saignement (associé ou diagnostic différentiel).

I60.8

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : **Hémorragie méningée**

Définition CIM-10 : Autres hémorragies sous-arachnoïdiennes

- Hémorragie méningée
- Rupture d'une malformation artérioveineuse cérébrale
- Anastomose artérioveineuse congénitale rompue du cerveau
- Anévrisme, anévrisme (anastomotique) (cirsoïde) (diffus) (faux) (fusiforme) (multiple) (sacculaire) artérioveineux (congénital) (périphérique) cerveau, congénital/acquis rompu/non rompu
- Anévrisme, anévrisme (anastomotique) (cirsoïde) (diffus) (faux) (fusiforme) (multiple) (sacculaire) (de) cerveau (non rompu) (artérioscléreux) méninges (non rompu) rompu
- Anévrisme, anévrisme (anastomotique) (cirsoïde) (diffus) (faux) (fusiforme) (multiple) (sacculaire) (de) sinus caverneux artérioveineux (congénital) (non rompu) rompu
- Hémorragie (due à) artère méningée moyenne
- Hémorragie (due à) méningée (cérébrale)
- Hémorragie (due à) sous-arachnoïdienne (non traumatique) (de) type précisé NCA
- Rupture (de) artère méningée

Effectif : 87

Observations médicales : Tous les dossiers ont été étudiés pour déterminer l'étiologie de l'hémorragie. Un tiers des patients présentait une hémorragie sous arachnoïdienne post-traumatique. Plusieurs patients étaient retrouvés au sol avec une anamnèse imprécise (la chute était-elle conséquence de l'hémorragie ou l'étiologie ?).

Certains patients présentaient des facteurs favorisants : traitement anti-agrégant/ anticoagulant, alcoolisme, hématome sous-dural chronique, métastases cérébrales, méningiome...

d) *Epidémiologie*

J09

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences: Grippe

Définition CIM-10 : Grippe, à certains virus grippaux identifiés

- Grippe A
- Grippe A contexte épidémie
- Grippe aviaire
- Grippe H1N1
- Grippe maligne A
- Grippe porcine
- Grippe type A
- Grippe virus H1N1
- Grippe virus H5N1
- Infection grippale type A
- Infection H1N1

Effectif : 2 765

Observations médicales : Les patients présentaient souvent plusieurs symptômes concordant avec un syndrome grippal : myalgies, céphalées, fièvre, arthralgies, sensation de malaise, vomissements, frissons, toux, douleurs abdominales... Le diagnostic était en général clinique, on retrouvait peu d'examen paraclinique.

J04.0

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences : Laryngite

Définition CIM-10 : Laryngite

- épisode infectieux laryngé
- Gangrène (cutanée) (extensive) (humide) (infectée) (locale) (par stase) (sèche) (septique) (ulcéreuse) (due à) larynx (infectieuse)
- Infection sous-glottique
- Inflammation glotte
- Inflammation laryngée
- Laryngite (aiguë) (oedémateuse) (sous-glottique) (suppurée) (ulcéreuse) (due à) B. de Pfeiffer
- Laryngite (aiguë) (oedémateuse) (sous-glottique) (suppurée) (ulcéreuse) (due à) Haemophilus influenzae
- Laryngite (aiguë) (oedémateuse) (sous-glottique) (suppurée) (ulcéreuse) (due à) streptococcique

Effectif : 653

Observations médicales : La moyenne d'âge des patients est de 5 ans et demi. La plupart étaient apyrétiques ou subfébriles. Le diagnostic était le plus souvent clinique basé sur une dyspnée inspiratoire brutale avec parfois un cornage et une toux rauque. Un bilan paraclinique était rarement réalisé.

N23

Intitulé dans le logiciel DMU des urgences: Colique néphrétique

Définition CIM-10 : Coliques néphrétiques, sans précision

- Colique (due à) néphrétique
- Colique (due à) rénale
- Colique (due à) uretère
- Douleur (de) rein
- Douleur (de) uretère
- Urétéralgie

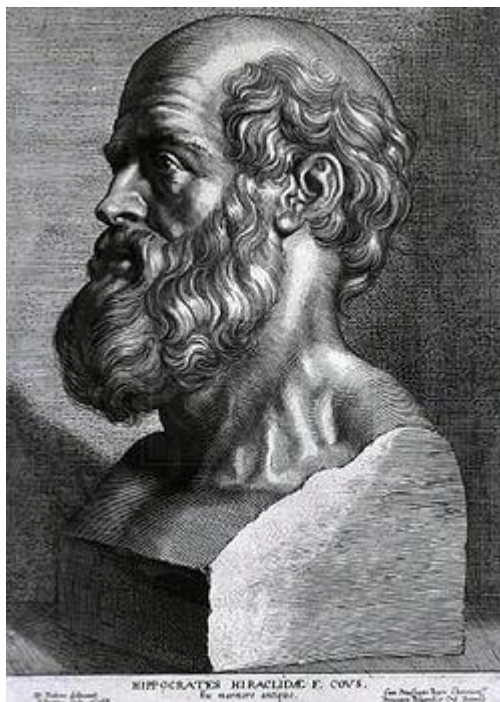
Effectif : 2 584

Observations médicales : Le diagnostic est le plus souvent clinique basé sur :

- l'interrogatoire (antécédent de colique néphrétique),
- l'anamnèse (douleur brutale, absence de fièvre...), une douleur allant de la fosse lombaire à la fosse iliaque (+/- jusqu'aux organes génitaux),
- la clinique : une douleur unilatérale à l'ébranlement lombaire, une hématurie mise en évidence par bandelette urinaire.

Dans la plupart des dossiers, un bilan complémentaire était prescrit pour rechercher des complications, le plus souvent une échographie abdominale à la recherche d'une dilatation des cavités pyélocalicielles, plus rarement un abdomen sans préparation, un scanner, un bilan biologique inflammatoire ou Examen CytoBactériologique des Urines (ECBU).

X. Serment d'Hippocrate



En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'HIPPOCRATE,

Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuitement à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au dessus de mon travail. Je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Admis dans l'intimité des maisons, mes yeux n'y verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.