



HAL
open science

Évaluation des impacts de trois polluants atmosphériques sur la survenue d'une exacerbation de BPCO à Nice

Gilles Maignant, Laurence Vanin, Yvon K Awuklu, Pascal Staccini

► To cite this version:

Gilles Maignant, Laurence Vanin, Yvon K Awuklu, Pascal Staccini. Évaluation des impacts de trois polluants atmosphériques sur la survenue d'une exacerbation de BPCO à Nice. *Revue francophone sur la santé et les territoires*, 2023, <10.4000/rfst.1834>. <hal-04860155>

HAL Id: hal-04860155

<https://hal.science/hal-04860155v1>

Submitted on 31 Dec 2024

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 - Attribution - Non-commercial use - ShareAlike - International License



Évaluation des impacts de trois polluants atmosphériques sur la survenue d'une exacerbation de BPCO à Nice

Evaluation of the impact of three air pollutants on the occurrence of COPD exacerbation in Nice

Gilles Maignant, Laurence Vanin, Yvon K. Awuklu et Pascal Staccini



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rfst/1834>

DOI : [10.4000/rfst.1834](https://doi.org/10.4000/rfst.1834)

ISSN : 2492-3672

Traduction(s) :

Evaluation of the impact of three air pollutants on the occurrence of COPD exacerbation in Nice - URL : <https://journals.openedition.org/rfst/1873> [en]

Éditeur

Espaces et SOciétés (UMR 6590)

Référence électronique

Gilles Maignant, Laurence Vanin, Yvon K. Awuklu et Pascal Staccini, « Évaluation des impacts de trois polluants atmosphériques sur la survenue d'une exacerbation de BPCO à Nice », *Revue francophone sur la santé et les territoires* [En ligne], Miscellanées, mis en ligne le 17 juin 2024, consulté le 18 juin 2024. URL : <http://journals.openedition.org/rfst/1834> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rfst.1834>

Ce document a été généré automatiquement le 18 juin 2024.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-SA 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

Évaluation des impacts de trois polluants atmosphériques sur la survenue d'une exacerbation de BPCO à Nice

Evaluation of the impact of three air pollutants on the occurrence of COPD exacerbation in Nice

Gilles Maignant, Laurence Vanin, Yvon K. Awuklu et Pascal Staccini

Introduction

- 1 L'air est nécessaire à la *pneuma*, au souffle, à la vie (cf. Les Stoïciens – Claudel, 1938 ; Mounier, 1946). Pourtant il peut contenir des éléments qui ne sont pas neutres vis-à-vis de notre santé et qui sont susceptibles d'accentuer nos vulnérabilités ; ces éléments sont appelés des polluants. En France, l'article 2 de la loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (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 excessives ».
- 2 L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) précise quant à elle que la santé est « un état complet de bien-être physique, mental et social et ne consiste pas seulement en l'absence de maladie ou d'infirmité » (OMS, 1946). Cette définition sous-entend que la santé possède un aspect multifactoriel et que d'autres facteurs non sanitaires peuvent influencer directement ou indirectement sur la santé des individus ou sur une population. Plusieurs études épidémiologiques, toxicologiques et expérimentales nous l'ont confirmée en mettant en évidence l'existence d'un lien à plus ou moins court terme

entre la pollution atmosphérique et l'état de santé d'une population (Beelen et al., 2014 ; Brunekreef et al., 2002 ; Declercq et al., 2006 ; Eilstein et al., 2004, 2009 ; Bois de Fer et al., 2009 ; Kim et al., 2017 ; Larrieu et al., 2007 ; Malley et al., 2017 ; Pascal et al., 2009 ; Suissa et al., 2013). Ainsi, l'OMS estime que chaque année, près de 7 millions de décès sont imputables à l'exposition à la pollution de l'air extérieur et intérieur (OMS, 2022) ; la commission « pollution et santé » du Lancet a estimé dès octobre 2017 que les maladies attribuables à la pollution atmosphérique ont été responsables de 9 millions de morts prématurées en 2015, soit 16 % de l'ensemble des décès dans le monde (Air, 2022). Tous ces faits font de la pollution atmosphérique un facteur essentiel des dégradations de la qualité de vie, un problème de santé publique mondial. C'est pourquoi il est avéré qu'il contribue à la diminution de la qualité et de l'espérance de vie de la population. De plus toutes les études scientifiques s'accordent sur le fait qu'il n'existe pas de seuils en-deçà duquel aucun effet sur la santé ne serait observé, tant pour une exposition chronique que pour une exposition aiguë. En effet, aujourd'hui, on distingue deux catégories d'effets sanitaires : tout d'abord, les effets aigus dits « à court terme » faisant suite immédiatement à l'exposition, puis les effets chroniques dits « à long terme » dont les répercussions surviennent après plusieurs années. Les pathologies chroniques se développant après plusieurs années d'exposition quotidienne, se manifestent par les cancers, les pathologies cardiovasculaires (infarctus du myocarde, angine de poitrine, accident vasculaire cérébral, troubles du rythme cardiaque...) et respiratoires (asthme, Bronchopneumopathie Chronique Obstructive...) (Gayle et al., 2021 ; Fuhrman & Delmas, 2009 ; Lu et al., 2022 ; Zheng et al., 2022). D'autres études récentes pointent également des effets possibles sur la reproduction, le risque de naissance prématurée, le diabète, le développement neurologique de l'enfant et la démence chez les personnes âgées. Aussi, l'aggravation de symptômes de pathologies chroniques (effets aigus) peut se produire dans un délai allant de quelques heures à quelques jours après une exposition aux polluants atmosphériques. Les effets les moins graves et les plus courants sont la toux, l'hypersécrétion nasale, l'expectoration, l'essoufflement, l'irritation nasale, des yeux et de la gorge... ; mais des effets plus graves (asthme aiguë grave, exacerbation de BPCO...) peuvent aussi apparaître et conduire à l'hospitalisation voir au décès. Ces manifestations s'accompagnent d'une gêne qui impacte la sensation de bien-être et affectent les plus vulnérables, ce qui indubitablement accentue leur mal être. D'autant que par exemple, on estime à 48 000 décès par an, l'impact de l'exposition chronique aux particules fines (PM2.5) sur la mortalité en France métropolitaine. Ce qui correspondrait à une perte moyenne d'espérance de vie à 30 ans de 9 mois.

- 3 L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé dans la ville de Nice (région PACA, France) durant la période allant de janvier 2012 à décembre 2018. Pour ce faire, nous avons identifié quatre points majeurs :
- Identifier les caractéristiques démographiques des patients admis pour une BPCO à partir de la base de données du PMSI.
 - Déterminer la tendance (générale et annuelle) des admissions pour une exacerbation de BPCO au cours de notre période d'étude. Dans la base de données, on ne constate pas plus de déclarations selon les jours de la semaine.
 - Apprécier l'évolution des concentrations des différents polluants durant la période de notre étude.

- Estimer l'ampleur des liens à court terme entre l'exposition à un polluant et l'occurrence des admissions pour une exacerbation de BPCO (données journalières hospitalières et de pollution).
- 4 La bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) est une maladie inflammatoire chronique respiratoire, encore relativement méconnue du grand public. Pourtant, elle n'est pas rare : en 2010, on estimait à 3,5 millions le nombre de personnes atteintes en France, soit 7,5 % de la population. Mais ce chiffre est probablement sous-estimé en raison d'une proportion élevée de patients non diagnostiqués. La maladie est plus fréquente chez les fumeurs, le tabac étant le principal facteur de risque. Avec le développement du tabagisme féminin, la BPCO concerne aujourd'hui presque autant de femmes que d'hommes (Zysman et al., 2022). La BPCO entraîne en outre chaque année de nombreuses hospitalisations et des décès liés aux exacerbations de la maladie (c'est-à-dire les poussées d'aggravation des symptômes habituels). Les taux d'hospitalisation augmentent régulièrement depuis 2000, avec une certaine hétérogénéité entre les régions. En 2017, entre 107 000 et 170 000 séjours hospitaliers en lien avec la BPCO ont été comptabilisés en France, et 17 000 décès étaient imputables à la maladie comme cause initiale ou associée. La mortalité associée à la maladie stagne malgré les progrès de la prise en charge, probablement en raison d'un sous-diagnostic de la maladie ou de diagnostics trop tardifs. Selon les projections de l'OMS, la BPCO pourrait constituer la troisième cause de mortalité dans le monde en 2030.
 - 5 Le principal facteur de risque de BPCO est le tabagisme (actif ou passif) ; plus de 80 % des cas lui sont attribuables. Bien qu'alarmant, ce chiffre ne doit pas occulter les autres sources, facteurs de risques, car si fumer peut s'avérer être un choix personnel, d'autres facteurs subis entrent en jeu dans ce processus complexe, justifiant l'intérêt de notre étude (Sinharay et al., 2018 ; Glencross et al., 2020 ; Evangelopoulos et al., 2021).
 - 6 Ainsi, d'autres facteurs accroissent le risque de développer la maladie et les vulnérabilités associées (Heinrich et al., 2018), c'est notamment le cas de : la pollution de l'air intérieur et extérieur, les expositions professionnelles ou domestiques à des poussières et des substances chimiques (silice, poussières de charbon, poussières végétales, moisissures), le tabagisme passif in utero, des infections des voies respiratoires inférieures fréquentes au cours de l'enfance pouvant aussi créer un terrain propice au développement ultérieur de la BPCO, et comme dans toute maladie multifactorielle, une composante génétique existe également.

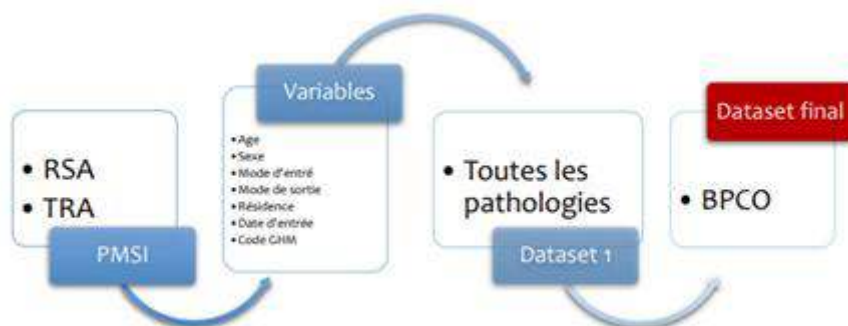
Méthodologie

- 7 Pour comprendre les liens à échelle fine entre pollution de l'air et maladies, nous avons exploité différentes bases de données ; la première provient du PMSI que nous décrivons maintenant :
- 8 Le Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI) est un outil de description et de mesure médico-économique de l'activité hospitalière. Il était à sa création dans les années 80, un outil épidémiologique avant de devenir un outil d'allocation budgétaire (PMSI, 2020). Le PMSI est devenu obligatoire depuis la loi du 31 juillet 1991 qui oblige les établissements de santé à procéder à l'évaluation et à l'analyse de leur activité. Il a été généralisé dans le secteur hospitalier public en 1994 et dans le secteur hospitalier privé en 1996. Au départ utilisé en court séjour MCO

(médecine, chirurgie et obstétrique), le PMSI est actuellement utilisé pour les soins de suite et de réadaptation (PMSI SSR), pour l'hospitalisation à domicile (PMI HAD) et la psychiatrie (PMSI PSY) (PMSI, 2020). La description de l'activité médicale dans le cadre du PMSI du secteur d'hospitalisation en soins de courte durée en MCO public et privé, repose sur le recueil systématique de données médico-administratives minimales et normalisées, contenues dans le résumé de sortie standardisé (RSS), et sur le traitement méthodique et partiellement automatisé de ces données. Toute hospitalisation, avec ou sans hébergement, dans le secteur MCO d'un établissement de santé, fait l'objet d'un RSS, constitué d'un ou de plusieurs résumés d'unité médicale (RUM). Dans le cadre de cet article, nous nous intéressons à la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO, 2022).

- 9 La deuxième base de données mobilisée pour cette étude est une base de données de pollution issue des stations de mesures de la qualité de l'air du réseau régional de surveillance, à savoir AtmoSud.
- 10 Notre étude s'est intéressée aux effets à court terme de l'association entre les différents niveaux des concentrations des polluants atmosphériques à savoir le dioxyde d'azote NO_2 , l'ozone O_3 , les particules (PM) et la survenue d'un événement sanitaire. Nous nous sommes spécialement intéressés à la ville de Nice. La période de suivi allait de janvier 2012 à décembre 2018. La pathologie d'intérêt était la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) et plus spécifiquement son exacerbation. Pour pouvoir extraire les données de BPCO comme dataset final, un long processus à partir de la base de données PMSI est réalisé (figure 1).

Figure 1 : Différentes étapes de préparation de l'extraction dans la base de données PMSI

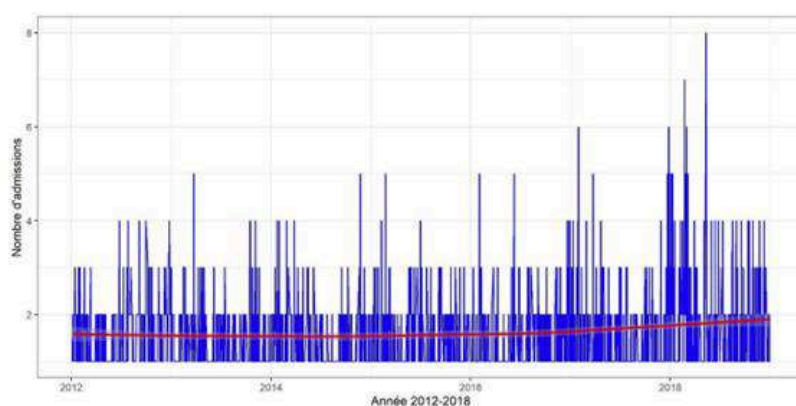


- 11 Pour sélectionner les polluants à utiliser pour notre étude, nous nous sommes appuyés sur la base de données disponible auprès d'AtmoSud, pour laquelle nous avons fait un tri. Ainsi, nous avons sélectionné les polluants dont au moins 80 % des valeurs étaient disponibles sur notre période d'étude (facteur d'inclusion).
- 12 Notre étude s'est focalisée sur **trois polluants** : l'ozone (O_3), le dioxyde d'azote (NO_2), les particules (PM_{10}). Malgré quelques travaux sur la modélisation de la qualité de l'air à échelle fine en ville (Maignant et al., 2018), la répartition spatiale de la pollution de l'air est peu connue et reste très hétérogène sur une ville, c'est pourquoi nous nous sommes focalisés sur les données de pollution issues des stations dites de fond (stations non influencées par une pollution de proximité, type pollution automobile). De plus, les données médicales étant localisées au code postal, il n'était pas pertinent d'utiliser les modèles de dispersion de polluants à échelle fine, développés par AtmoSud, donnant

une estimation de la pollution à l'échelle de la rue. Traditionnellement dans les études couplant des données de pollution à des données médicales issues des bases PMSI, on utilise des données au code postal pour des questions de confidentialité. C'est pourquoi, que ce soit pour les données médicales ou pour les données de pollution, l'échelle journalière a été choisie. Cette granularité permet d'analyser des liens intéressants entre données journalières de pollution et données de consultations médicales (selon la pathologie choisie) et ainsi de mettre en exergue un décalage temporaire Lag0 à Lag5 (temps de déclenchement des symptômes) (Nascimento et al., 2016, Dabass et al., 2016).

- 13 Nice dispose de deux stations de fond : la station Nice Ouest Botanique, station périurbaine de fond créée le 3 juillet 1998 et située au 78 Corniche Fleurie à Nice et la station Nice Aéroport, station périurbaine de fond créée le 10 mars 2005. La station Nice Ouest Botanique enregistre les données d'ozone tandis que la station Nice Aéroport a enregistré les données du dioxyde d'azote, de l'ozone et des particules dont nous nous sommes servis. Pour ce qui concerne les données des particules, nous ne disposons que des données allant de la période 2012 à 2017. Les deux stations sont situées sur l'Ouest de la ville (figure 2).

Figure 2 : Stations du réseau de surveillance de la qualité de l'air



- 14 A partir de ces deux bases de données, nous avons construit notre modèle statistique permettant d'estimer une éventuelle relation entre l'exposition à un polluant atmosphérique et une exacerbation de BPCO. Le modèle choisi est un Modèle Linéaire Généralisé (GLM) de type comptage (régression de Poisson), en tenant compte de la surdispersion, c'est-à-dire lorsque la variance des données observées est supérieure à la moyenne de la variable. Notre unité d'observation était le jour.
- 15 Dans cette optique, nous avons construit deux indicateurs :
- Un indicateur sanitaire : il s'agit de notre **variable à expliquer**. Il correspond au nombre des admissions journalières pour une exacerbation de BPCO. Les données de sa construction ont été extraites des fichiers du PMSI selon la principale cause d'hospitalisation, enregistrée à la sortie de l'hôpital. Le modèle exprime le logarithme népérien de l'espérance de notre indicateur sanitaire. Les questions de mobilités domicile-travail ne sont pas disponibles, seul le code postal est renseigné dans la base PMSI (dans le PMSI, le code commune est appelé code géographique ; il s'agit du code postal lorsque celui-ci a plus de 1000 habitants, et d'un

code postal agrégé pour les codes postaux de moins de 1000 habitants). Les consultations pour BPCO ne sont pas plus fréquentes le week-end, ou en début de semaine, aucune structure liée au jour de la semaine n'est identifiable dans nos données.

- Un indicateur de pollution : il s'agit de notre **variable explicative**. Dans un premier temps, pour modéliser l'exposition de la population à la pollution atmosphérique ambiante, notre hypothèse était que les mesures enregistrées par AtmoSud sont une estimation non biaisée de la moyenne des valeurs individuelles de l'exposition des individus composant notre population d'étude. En pratique, cette hypothèse se traduit par l'utilisation de la moyenne arithmétique des concentrations journalières des différents polluants enregistrés par les différentes stations de mesure situées à Nice (les valeurs journalières d'une station étant, elles-mêmes, les moyennes des 24 mesures horaires enregistrées par la station). Cette moyenne constitue l'indicateur d'exposition ambiante qui, chaque jour, est attribué à l'ensemble de la population, car d'une part on ne connaît pas avec précision l'adresse du patient, et d'autre part on ne connaît pas la mobilité quotidienne du patient. L'indicateur a été construit en se servant des données des mesures quotidiennes des polluants issus des différentes stations de surveillance de la qualité de l'air de Nice. Il est en microgramme par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Dans un second temps, cet indicateur a subi une transformation (de type binaire) afin de tester les liens éventuels avec des valeurs prises pour seuil (le percentile 50, le percentile 75 et la valeur limite pour la protection de la vie humaine de l'UE). L'indicateur prenait alors la valeur « 1 » quand elle est supérieure aux valeurs seuils et « 0 » dans le cas contraire. Notre indicateur de pollution a été testé sur un ensemble de décalages (de 0 à 5 jours, appelés Lag0 à Lag5) afin d'évaluer les liens statistiques éventuels le même jour et les jours précédents, comme le préconise la littérature (Lall et al., 2011 ; Anses, 2021).

Modèle

- 16 Le modèle statistique choisi est GLM¹ sur données de comptage imposant un certain nombre de critères de validité à prendre en compte. Les modèles GLM sont employés lorsque la variable à analyser résulte d'un processus de comptage (comme ici : nombre d'admissions pour BPCO) et que ses données de comptages ne sont pas distribuées selon une loi normale, ce qui est notre cas.
- 17 Pour pouvoir être valide, ce type de modèles (régression de Poisson) requiert les conditions suivantes :
 - Les réponses doivent être indépendantes.
 - Les réponses doivent être distribuées selon une loi de Poisson, de paramètre Lambda.
 - Et il ne doit pas y avoir de surdispersion.
- 18 Comme les données utilisées sont des données journalières, les réponses ne sont pas corrélées entre elles ; la distribution des réponses suit une loi de Poisson, or nous avons constaté que le troisième critère n'était pas satisfait. Pour cette raison nous sommes passés d'une structure « Poisson » à une structure « quasi-Poisson ». Le choix de cette loi statistique est guidé par le fait que la survenue d'une BPCO reste un événement rare (et heureusement), au sein d'une population. Pour autant, la rareté d'un phénomène ne peut conduire à la négation de celui-ci, il nous a semblé important de nous fier aux évidences suivantes. Le choix d'une loi de type quasi-Poisson permet de traiter les questions de surdispersion et de mesurer l'association entre un ensemble de paramètres de régression et le résultat.

19 Nous avons :

- Dans un premier temps, essayé d'estimer l'amplitude des liens à court terme entre l'exposition à un polluant et l'occurrence des admissions pour une exacerbation de BPCO. Pour cela, nous avons construit notre modèle en mettant comme « variable à expliquer » le nombre des admissions journalières pour une exacerbation de BPCO et comme « variable explicative » les concentrations moyennes journalières des différents polluants.
- Dans un second temps, afin de déterminer une valeur seuil à partir de laquelle nous pouvons qualifier une atmosphère de polluée, nous avons effectué trois tests sur nos différents polluants à partir de trois hypothèses :
- Hypothèse 1 (H75) : il y a pollution si la moyenne des concentrations journalières d'un polluant (NO₂, O₃ ou PM₁₀) dépasse le percentile 75 des valeurs de ce polluant au cours de notre période d'étude.
- Hypothèse 2 (H50) : il y a pollution si la moyenne des concentrations journalières d'un polluant (NO₂, O₃ ou PM₁₀) dépasse le percentile 50 (médiane) des valeurs de ce polluant au cours de notre période d'étude.
- Hypothèse 3 (HV) : il y a pollution si la moyenne des concentrations journalières d'un polluant (NO₂ ou PM₁₀) dépasse la valeur limite pour la protection de la santé humaine définie par UE au cours de notre période d'étude (WHO, 2000).

Résultats

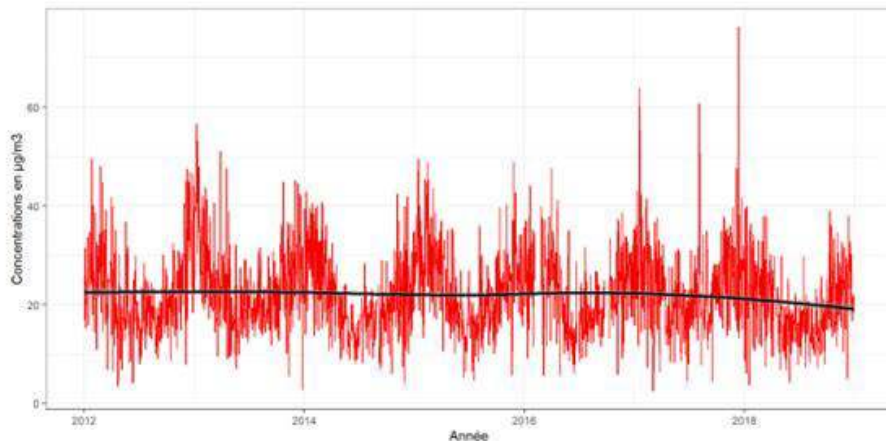
20 L'extraction des données sanitaires et environnementales a été réalisé sous R en utilisant différents packages, tout en respectant les contraintes du RGPD². Le tableau suivant donne la répartition des 4082 admissions pour BPCO sur le département (tableau 1), pour la période 2012-2018, dont plus de 66,9 % résidaient à Nice, justifiant de se focaliser sur cette commune. Rappelons que pour les petites communes, les codes PMSI englobent plusieurs communes et ne permettraient donc pas de coupler ces données sanitaires avec des données de pollution réalistes (la station de fond pouvant, dans ce cas, ne pas être représentative de la pollution respirée).

Tableau 1 : Répartition des admissions pour BPCO en fonction de l'année

Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
BPCO	575	542	497	534	563	614	757	4082
Exacerbation BPCO	470	435	392	471	501	563	727	3559

21 L'âge moyen des patients admis pour BPCO était de 71,8 ± 0,14 ans avec des extrêmes de 18 ans et 103 ans. L'âge médian était de 72 ans. Les hommes représentaient 2484 (60,9 %) de l'effectif des admissions soit un sex-ratio de 1,55. Sur les 4082 admissions, on enregistrait 102 décès pour BPCO et 3559 (87,2 %) admissions pour une exacerbation de BPCO. La figure 3 montre la tendance générale des admissions pour exacerbation de BPCO à Nice.

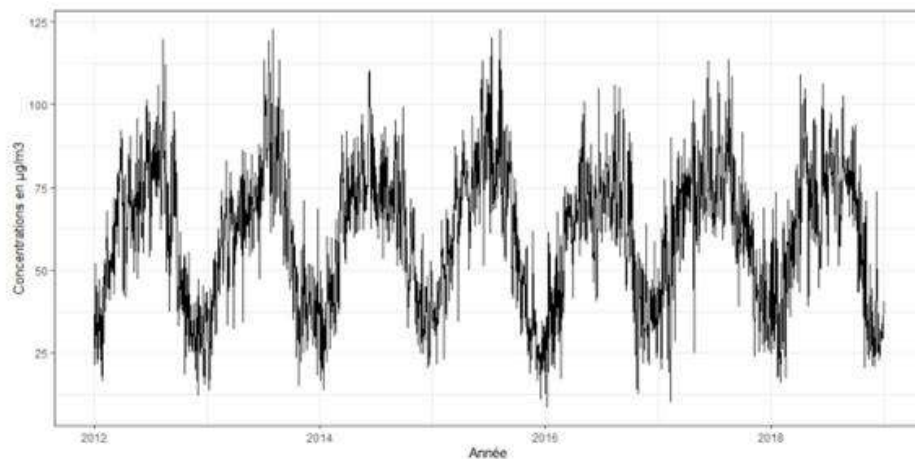
Figure 3 : Tendence générale des admissions pour exacerbation de BPCO à Nice



- 22 En parallèle de la tendance générale des admissions pour exacerbation de BPCO à Nice, nous avons établi les courbes des données de pollution sur la même période.
- 23 Pour le dioxyde d'azote, le tableau 2 résume les caractéristiques de cet indicateur de pollution. Nous constatons grâce à la figure 4 que cet indicateur a une forte composante saisonnière avec des concentrations plus élevées en hiver qu'en été. Nous notons également que la tendance des niveaux moyens des concentrations de NO₂ évolue vers la baisse à partir de l'année 2017.

Tableau 2 : Résumé des données de concentrations en NO₂

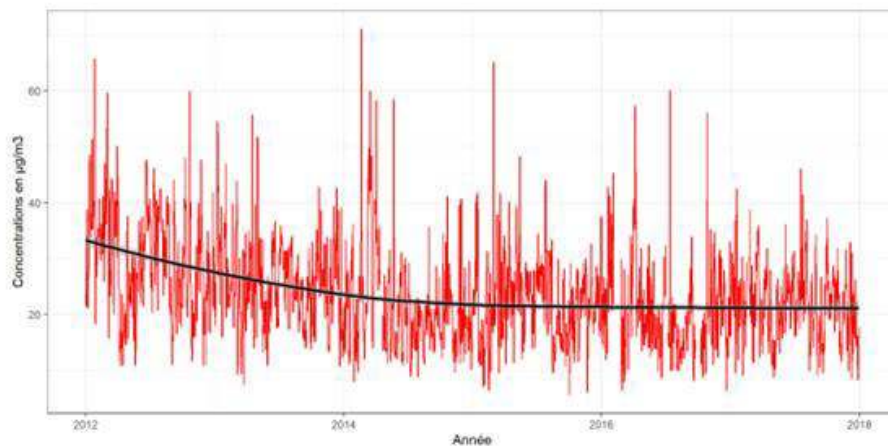
Station Nice – Aéroport : Concentrations en µg/m ³ de NO ₂								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2012-2018
Minimum	3,417	2,917	4,304	4,625	5,625	2,458	3,75	2,458
1 ^{er} quartile	16,010	17,448	15,500	16,947	16,083	17,188	14,40	16,136
Médiane	20,521	22,146	19,250	22,333	21,083	22,250	18,65	20,792
Moyenne	21,861	23,674	20,765	23,151	21,675	23,280	19,38	21,986
3 ^{ème} quartile	26,615	28,285	25,042	28,337	26,417	28,125	23,62	26,958
Maximum	49,583	56,625	42,917	49,522	47,625	76,208	40,00	76,208

Figure 4 : Tendence générale et annuelle de la concentration en NO₂

- 24 Pour l'ozone, le tableau 3 résume les caractéristiques de cet indicateur de pollution. Nous pouvons observer que l'ozone possède aussi une variation saisonnière comme le dioxyde d'azote mais avec une tendance inversée (figure 5). En effet, les concentrations de ce polluant semblent être plus élevées en été qu'en hiver. En revanche, la tendance générale semble être constante tout au long de notre période d'étude. Nous observons également que la médiane est généralement supérieure à la moyenne.

Tableau 3 : Résumé des données de concentrations en O₃

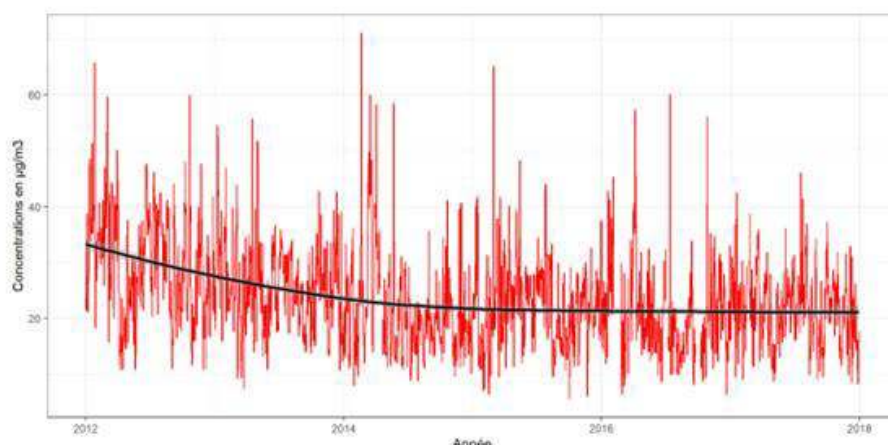
Moyenne des deux stations de fond de Nice (Nice – Aéroport/Nice Ouest Botanique) : Concentrations en µg/m ³ de O ₃								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2012-2018
Minimum	12,23	13,85	13,71	11,10	8,625	10,09	15,96	8,625
1 ^{er} quartile	40,78	43,50	45,23	40,75	42,099	51,73	44,43	43,943
Médiane	57,81	62,98	64,62	63,94	61,375	65,40	64,14	63,146
Moyenne	58,45	60,70	61,08	61,12	58,733	64,02	61,15	60,750
3 ^{ème} quartile	75,97	73,92	76,46	78,38	73,307	76,75	77,71	76,120
Maximum	119,58	122,75	110,38	122,73	106,104	113,48	108,98	122,750

Figure 5 : Tendence générale et annuelle de la concentration en O₃

- 25 En ce qui concerne les particules, la tendance sur la période considérée est à la baisse progressive jusqu'en 2012, avant de se stabiliser vers 2015 et ne semblent pas avoir de saisonnalité marquée. Elles sont majoritairement émises par le trafic routier qui sur la Côte d'Azur est peu affecté par la saisonnalité. Le tableau suivant donne un aperçu de cet indicateur :

Tableau 4 : Résumé des valeurs de PM₁₀ sur la période 2012-2017

Station Nice – Aéroport : Concentrations en µg/m ³ de PM ₁₀							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2012-2017
Minimum	10,70	7,333	8,00	5,583	6,333	8,273	5,583
1^{er} quartile	22,83	20,406	15,68	16,875	15,010	16,927	17,292
Médiane	30,06	25,083	19,92	21,917	18,875	21,479	22,458
Moyenne	30,06	25,798	21,66	22,282	20,609	21,690	23,747
3^{ème} quartile	37,052	31,052	24,73	26,958	24,604	25,708	28,583
Maximum	65,79	55,737	71,05	65,083	60,042	46,125	71,045

Figure 6 : Tendence générale et annuelle de la concentration en PM₁₀

On s'intéresse à nos trois polluants respectifs : NO₂, Ozone et PM₁₀.

- 26 Pour le NO₂, le percentile 75, le percentile 50 et la valeur limite pour la protection de la santé humaine sont respectivement : 26,9, 20,8 et 40 µg/m³.

Tableau 5 : Résultats du modèle pour le test avec les concentrations moyennes journalières de NO₂

Concentrations moyennes journalières de NO ₂				
Lag ³	Coefficient	SE ⁴	RR ⁵	p-value
Lag 0*	0,5951	0,1320	1,81	0,0169
Lag 1	0,2180	0,1297	1,24	0,0929
Lag 2	0,1312	0,1289	1,14	0,309
Lag 3	0,2301	0,1295	1,26	0,757
Lag 4*	0,2616	0,1297	1,30	0,0438
Lag 5	0,1657	0,1287	1,18	0,198

³ Code de significativité : '***' p < 0.001, '**' p < 0.01, '*' p < 0.05.

⁴ Erreur Standard

⁵ Risque relatif

- 27 Les résultats du modèle montrent qu'il existe une association significative entre l'exposition au NO₂ et le nombre d'admissions journalières pour une exacerbation de BPCO le jour même (lag 0 ; RR = 1,81 ; p = 0,0169) et le quatrième jour précédent (lag 4 ; RR = 1,30 ; p = 0,0438). Ainsi, lorsque les concentrations journalières en NO₂ augmentaient de 10 µg/m³, le nombre d'admissions journalières pour exacerbation de BPCO augmentait de 1,81 (en RR) pour une exposition le même jour et de 1,30 (en RR) pour une exposition le quatrième jour précédent (tableau 5). En ce qui concerne nos trois hypothèses, nous n'avons trouvé aucun lien pour l'hypothèse HV. Cependant pour l'hypothèse H50, il existe un lien significatif le jour même (lag 0 ; RR = 1,26 ; p = 0,0032). Donc, nous pouvons dire que le nombre d'admissions journalières pour une exacerbation de BPCO était 1,26 fois plus important quand les concentrations journalières en NO₂ dépassaient 20,8 µg/m³ le jour même. L'hypothèse H75 a montré

qu'il existe une association très significative le jour même (lag 0 ; RR = 1,29 ; p = 0,0009) et une association significative le premier jour précédent (lag 1 ; RR = 1,14 ; p = 0,0067), le troisième jour précédent (lag 3 ; RR = 1,13 ; p = 0,0153), quatrième jour précédent (lag 4 ; RR = 1,15 ; p = 0,0054) et le cinquième jour précédent (lag 5 ; RR = 1,13 ; p = 0,0121). De ce fait, le nombre d'admissions journalières pour une exacerbation de BPCO était : 1,29 fois plus important lorsque les concentrations journalières en NO₂ dépassaient 26,9 µg/m³ le jour même que quand elles ne le dépassaient pas, 1,14 fois plus important lorsque les concentrations journalières en NO₂ dépassaient 26,9 µg/m³ le premier jour précédent que quand elles ne le dépassaient pas, 1,1 plus important lorsque les concentrations journalières en NO₂ dépassaient 26,9 µg/m³ le troisième jour précédent que quand elles ne le dépassaient pas, 1,15 fois plus important lorsque les concentrations journalières en NO₂ dépassaient 26,9 µg/m³ le quatrième jour précédent que quand elles ne le dépassaient pas et 1,13 fois plus important lorsque les concentrations journalières en NO₂ dépassaient 26,9 µg/m³ le cinquième jour précédent que quand elles ne le dépassaient pas.

- 28 Pour l'ozone, le percentile 75 et le percentile 50 sont respectivement : 76,1 et 63,1 µg/m³. Les résultats du modèle pour le test avec les concentrations moyennes d'O₃ sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau 6 : Résultats du modèle pour les concentrations moyennes journalières d'ozone.

Concentrations moyennes journalières de O ₃				
Lag	Coefficient	SE	RR	p-value
Lag 0**	-0,5978	0,1175	0,55	0,0035
Lag 1**	-0,5225	0,1182	0,59	0,0069
Lag 2*	-0,4841	0,1185	0,62	0,0308
Lag 3***	-0,4506	0,1189	0,64	0,0001
Lag 4***	-0,4290	0,1191	0,65	0,0003
Lag 5*	-0,4974	0,1185	0,61	0,0187

- 29 Un lien significatif a été établi entre l'ozone et le nombre d'admissions journalières pour une exacerbation de BPCO avec les différents tests et ce, sur l'ensemble des jours de décalage (Lag0 à Lag5). Ainsi, le nombre d'admissions journalières pour une exacerbation de BPCO diminuait de [0,55–0,65] pour une exposition sur l'ensemble des jours de décalage (0 à 5 jours) lorsque les concentrations journalières en O₃ augmentaient de 10 µg/m³ (tableau 6). Le nombre d'admissions journalières pour une exacerbation de BPCO était [0,83–0,88] fois moins important quand les concentrations journalières en O₃ dépassaient 76,1 µg/m³ pendant les jours de décalage que lorsqu'elles ne le dépassaient pas. Lorsque les concentrations journalières en O₃ dépassaient 63,1 µg/m³ pendant nos jours de décalage, le nombre d'admissions journalières pour une exacerbation de BPCO était [0,79–0,84] fois moins important que lorsqu'elles ne le dépassaient pas.
- 30 Pour les particules (PM10), le percentile 75, le percentile 50 et la valeur limite pour la protection de la santé humaine sont respectivement : 28,6, 22,5 et 20 µg/m³.

Tableau 7 : Résultats du modèle pour les concentrations moyennes journalières de PM₁₀

Concentrations moyennes journalières de la PM ₁₀				
Lag	Coefficient	SE	RR	p-value
Lag 0	0,1651	0,1472	1,18	0,2672
Lag 1	0,07418	0,14647	1,08	0,613
Lag 2	0,05758	0,14649	1,06	0,694
Lag 3	0,2114	0,1471	1,23	0,1509
Lag 4	0,0474	0,1472	1,05	0,747
Lag 5	0,2048	0,1476	1,23	0,1653

- 31 Pour les particules PM₁₀, la seule association significative retrouvée, est avec l'hypothèse H50 au cinquième jour de décalage. Ainsi, le nombre d'admissions journalières pour une exacerbation de BPCO est 1,1 fois plus important lorsque les concentrations journalières en PM₁₀ dépassaient 22,5 µg/m³ le cinquième jour précédent l'admission que lorsque les concentrations ne dépassaient pas ce seuil.

Discussion

- 32 Notre étude a porté sur l'évaluation de l'impact de trois polluants atmosphériques (NO₂, O₃ et PM₁₀) sur une pathologie chronique respiratoire à savoir la BPCO dans la ville de Nice durant la période allant de 2012 à 2018. Cette étude a été réalisée en se servant d'une part des données du PMSI et d'autre part des données recueillies par les différentes stations de surveillance de la qualité de l'air à Nice. Les données du PMSI n'étant pas initialement collectées pour réaliser des études épidémiologiques (elles alimentaient plutôt des études médico économiques), le codage des diagnostics dans le PMSI est souvent sujet à quelques mauvaises classifications spécialement en ce qui concerne les maladies respiratoires et cardiovasculaires. Cette mauvaise classification peut être source de légers biais dans cette étude. La bronchopneumopathie chronique obstructive est une maladie inflammatoire chronique des bronches qui touche le plus souvent les personnes âgées. Nos résultats le confirment avec une moyenne d'âge de 71,8 ± 0,14 ans et une médiane supérieure à la moyenne de 72 ans ; cette étude montre que la majorité des personnes atteintes de cette pathologie a plus de 70 ans. Ce résultat est comparable à celui de Zanobetti et al., dans leur étude menée aux États-Unis où ils retrouvaient une moyenne de 76,4 ans (Zanobetti et al., 2008). Sur les 4082 admissions pour une BPCO au cours de notre période d'étude, on ne notait « que » 102 décès (2,5 %). Cela pourrait probablement s'expliquer par la qualité du système de santé français où les patients bénéficient d'une bonne et rapide prise en charge notamment dans des régions qui concentrent une population de retraités. Sans doute, une certaine hygiène de vie, et/ou qualité de vie dans le sud de la France peuvent aussi être des éléments pouvant expliquer ce chiffre.
- 33 L'étude a également permis d'établir un lien significatif entre les concentrations de certains de nos polluants (NO₂, O₃) et le nombre d'admissions journalières pour une exacerbation de BPCO. De nos résultats, nous pouvons dire qu'une augmentation de

10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des concentrations de dioxyde d'azote le jour même ou dans le quatrième jour précédent avait un impact sur le nombre d'admissions du jour pour une exacerbation de BPCO (lag 0, $p = 0,0169$ et lag 4, $p = 0,0438$). D'autres études ont confirmé nos résultats en prouvant également l'existence d'un lien entre la BPCO et une exposition au NO_2 , c'est notamment le cas de l'étude de Liu et al. (2018) en Chine. L'ozone a un effet protecteur sur les admissions pour exacerbation de BPCO selon nos résultats. En effet, le risque d'avoir une admission pour exacerbation de BPCO est diminué lorsque les concentrations journalières en O_3 sont plus élevées par rapport au moment où elles ne le sont pas (lag 0-5). Plusieurs études ont fait la même observation. Sur 22 études menées à travers le monde (neuf en Amérique du Nord, neuf en Europe, trois en Asie et une en Australie) par des chercheurs sur l'effet de l'ozone sur les admissions pour la BPCO, 18 faisaient état d'un effet positif de l'ozone sur ces admissions (10 d'entre elles étaient significatives) (Moore et al., 2016).

- 34 En ce qui concerne les PM_{10} , notre étude n'a pas pu établir un lien assez significatif entre les concentrations journalières en PM_{10} et les admissions pour une exacerbation de BPCO malgré le fait que la valeur des concentrations journalières en PM_{10} dépassait, la plupart du temps, celle des recommandations de l'UE (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ces résultats étaient similaires à ceux d'autres études menées dans plusieurs villes d'Amérique du Nord et en Europe (Moore et al., 2016 ; Stieb et al., 2009) mais étaient différents des études de Song et Zhu menées en Chine où ils retrouvaient des associations significatives entre les admissions pour BPCO et les niveaux moyens de PM_{10} (Song et al., 2014 ; Ruixia et al., 2013 ; Xu et al., 2022 ; Zhu et al., 2013).
- 35 Toutefois, notre étude présente quelques limites que nous mentionnons ici. Les données de pollution à échelle fine existent et sont disponibles auprès d'AtmoSud. En revanche les données médicales, pour des questions d'anonymisation, ne sont pas disponibles à une échelle aussi affinée, c'est pourquoi nous avons travaillé à partir des stations de fond non influencées par la proximité de sources mobiles ou ponctuelles. L'analyse a été menée sur l'année complète, ainsi la saisonnalité des concentrations, la variabilité hebdomadaire de la pollution sont explicitement introduites dans le modèle.
- 36 Il serait également pertinent de collecter des données complémentaires et précises sur les patients, notamment des variables socio-économiques, sociologiques, ainsi que leurs trajets domicile-travail, pour mieux appréhender leurs expositions réelles. Une des pistes potentielles à explorer est de se référer à l'exposome, mais cela n'était pas possible à partir des bases de données dont nous disposions.
- 37 Comme le précise Isabelle Annesi-Maesano :
- « L'essentiel de l'impact respiratoire de la pollution atmosphérique est de type chronique, et dû à la pollution habituelle. Les poumons constituent une des principales portes d'entrée de la pollution atmosphérique. Ils cherchent à se défendre contre cette intrusion en activant des cellules immunitaires, dont les macrophages dans le cas de particules. Cependant, ces mécanismes de défense ne suffisent pas, même à des concentrations faibles, et d'autant plus chez certains groupes de sujets (enfants, personnes âgées, personnes souffrant de maladies cardiorespiratoires, etc.) qui sont plus susceptibles. Une preuve directe réside dans le fait que les effets respiratoires de la pollution atmosphérique sont observés alors que les normes en vigueur sur la qualité de l'air sont en général respectées. » (Annesi-Maesano, 2019)
- 38 Malgré tout, ces éléments sont susceptibles d'éclairer et d'influer une politique de la ville dans le cadre notamment d'un vaste champ de l'optimisation de la ville. Cela

implique une prise en compte des risques en santé afin d'anticiper les événements et de prévenir les risques encourus par les populations vulnérables. La gestion de la ville par des capteurs, des intelligences artificielles et un système de détection des pollutions pourrait avoir un impact sur les politiques de la ville. Elles seraient ainsi à même de réaliser des campagnes de sensibilisation, ce qui permettrait une acculturation des citoyens à ces questions de santé. La prise de conscience des risques encourus associée à un ensemble de gestes de précaution pourrait contribuer à terme à réduire les hospitalisations liées aux pollutions de l'air.

« Conçus comme des abris pour procurer sécurité et confort, les bâtiments sont rarement des objets isolés et la manière dont ils sont vécus et perçus dépend fortement de l'environnement extérieur et de la relation qu'ont les usagers avec cet environnement. Ouvre-t-on autant les fenêtres sur un boulevard pollué et bruyant que sur une cour arborée ? » (Estival et al., 2017)

- 39 C'est pourquoi pour prévenir les risques il est utile d'informer les citoyens sur les bonnes pratiques afin qu'ils puissent participer de leur santé. Ils pourraient ainsi se sentir moins vulnérables face à un risque dont parfois ils ont conscience, mais dont ils évaluent mal la dangerosité parce que la pollution n'est pas nécessairement visible ou perceptible. Si certains sont sensibles et peuvent éprouver quelques gênes ou symptômes (maux de gorges, rhinites, etc.) d'autres, les plus vulnérables, sont certainement ceux qui sont fragiles (enfants, personnes âgées, personnes souffrants de maladies chroniques) mais ne perçoivent pas de signes liés à leur exposition aux polluants. Asymptomatiques, ils sont rivés à une sorte de passivité parce qu'ils ne sont pas suffisamment alertés sur les menaces qui pèsent sur leur santé. Ils se pensent à l'abri et oublient que comme tous, ils subissent les effets de la pollution.
- 40 La végétalisation des villes, s'aérer au bon moment, éviter de s'exposer à des pics de pollutions, etc., sont autant de préceptes susceptibles de contribuer au bien-être et à la santé de chacun. C'est pourquoi les villes tentent de créer des couloirs naturels rafraîchissants et des espaces verts afin que chacun puisse bénéficier d'un air plus sain. Elles aménagent également des lieux pour pratiquer de l'activité physique et promouvoir les bienfaits de l'activité sur la santé. Ces mesures s'accompagnent également d'une politique de la ville en faveur de la mobilité douce (marche à pied) et les infrastructures sont disposées selon des parcours choisis afin de favoriser la location de bicyclettes. Les centres villes sont de plus en plus fermés à la circulation des véhicules traditionnels et des véhicules électriques (deux roues) sont laissés à la disposition des citoyens afin de limiter les contraintes des plus réfractaires.
- 41 Cette prise de conscience individuelle, puis collective, qui mobilise les pouvoirs publics afin qu'ils s'emparent du sujet, prennent des mesures et mènent à bien des initiatives salvatrices pour la communauté, est essentielle à la résilience des villes pour favoriser le bien-être et permettre de préserver la santé de chacun. Par ailleurs, les initiatives en faveur de la santé des citoyens sont très appréciées des habitants ou touristes qui déambulent dans des rues aérées, agréables et verdoyantes, mais surtout elles contribuent à réenchanter les territoires. Cependant, ces mesures doivent être accompagnées pour être efficaces car comme le souligne Bergeron, « le comportementalisme a pour effet de ne pas changer les structures profondes et, comme l'ont montré de longue date les travaux de psychologie, on peut voir l'effet s'étioler dans le temps : un nudge ludique poussera les personnes à trier leurs déchets, à marcher davantage, à limiter leur vitesse, à réduire leur temps sous la douche tant que

le procédé les amusera. Dès qu'elles en seront lassées, le risque est grand qu'elles reprendront leurs habitudes antérieures » (Bergeron et al, 2018).

Conclusion

- 42 La bronchopneumopathie chronique obstructive, pathologie chronique inflammatoire respiratoire, est souvent méconnue du grand public. Pourtant, elle entraîne chaque année de nombreuses hospitalisations et des décès liés à son exacerbation. Le principal facteur de risque de cette pathologie est le tabagisme (actif ou passif), mais d'autres facteurs accroissent également le risque de développer cette maladie, c'est notamment le cas de la pollution de l'air intérieur et extérieur. Notre étude a permis de mettre en lumière cette pathologie et d'établir un lien avec certains polluants atmosphériques (les trois principaux en ville). Nous avons pu constater qu'une augmentation des concentrations de dioxyde d'azote pouvait augmenter le nombre d'admissions pour une exacerbation BPCO. Ce lien a été établi avec des valeurs de concentrations bien inférieures aux valeurs définies par l'UE pour la protection de la santé. Ce qui pourrait soulever la question de la réévaluation de ces valeurs voire de créer des valeurs de référence régionalisées. D'après nos résultats, l'ozone semble avoir un effet protecteur sur les exacerbations de BPCO dans notre région. Cependant, nous n'avons pas pu établir de lien significatif entre une exacerbation de BPCO et les particules (PM₁₀), bien que les concentrations de PM₁₀ à Nice dépassent la plupart du temps les valeurs recommandées selon la norme européenne.

BIBLIOGRAPHIE

Air [Internet]. [cité 20 juill 2022]. <http://santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air>

Annesi-Maesano, I. (2019). Impact de la pollution atmosphérique sur la santé respiratoire. *La lettre du Pneumologue*, XXII, 1.

Anses (2021). Avis relatif à « la modification des seuils de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant », saisine n° « 2020-SA-0110 », 109 p.

Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., et al. (2014). Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet*, 383. DOI : 10.1016/S0140-6736(13)62158-3

Bergeron, H., Castel, P., Dubuisson-Quellier, S., et al. (2018). *Le biais comportementaliste*. Presses de Sciences Po.

Bois de Fer, B., Host, S., Chardon, B., et al. (2009). Estimation des hospitalisations en urgence pour mesurer les effets à court terme de la pollution atmosphérique : qualité des données issues du PMSI. *Santé publique*, 21. DOI : 10.3917/spub.092.0147.

- Brunekreef, B. & Holgate, S.T. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, 360. DOI : 10.1016/S0140-6736(02)11274-8
- Claudiel, P. (1938). *Un poète regarde la croix*. Gallimard.
- Dabass, A., Talbott, E. O., Bilonick, R. A., et al. (2016). Using spatio-temporal modelling for exposure assessment in an investigation of fine particulate air pollution and cardiovascular mortality. *Environmental Research*, 151, 564-572.
- Declercq, C., Lefranc, A., Pascal, L., et al. (2006). Air Pollution and Hospitalizations for Heart Diseases in Eight French Cities. *Epidemiology*, 17(6), S259.
- DGS_Céline, M. (2020). Qualité de l'air : Sources de pollution et effets sur la santé [Internet]. Ministère des Solidarités et de la Santé. <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/air-exterieur/qualite-de-l-airexterieur-10984/article/qualite-de-l-air-sources-de-pollution-et-effets-sur-la-sante>
- Eilstein, D., Declercq, C., Prouvost, H., et al. (2004). Retentissement de la pollution atmosphérique sur la santé. *La Presse Médicale*, 33(19), 1323-7.
- Eilstein, D., Larrieu, S., Wagner, V., et al. (2009). Association entre l'exposition à la pollution atmosphérique et la santé : utilisation des séries chronologiques. *Journal de la SFdS*, 150(1), 30-53.
- Estival, L. & Musy, M. (2017). *Vivons la ville autrement*, préface de Pascal Picq, Ed. Quae.
- Evangelopoulos, D., Chatzidiakou, L., Walton, H., et al. (2021). Personal exposure to air pollution and respiratory health of COPD patients in London. *Eur Respir J.*, 58(1):2003432. DOI : 10.1183/13993003.03432-2020.
- Fuhrman, C. & Delmas, M.C. (2009). Hospitalisations pour exacerbations de BPCO. Comment les identifier à partir des données du programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) ? Institut de veille sanitaire.
- Gayle, A.V., Quint, J.K., Fuertes, E.I. (2021). Understanding the relationships between environmental factors and exacerbations of COPD. *Expert Rev Respir Med.*, 15(1), 39-50. DOI : 10.1080/17476348.2020.1801426.
- Glencross, D.A., Ho, T.R., Camiña, N., et al. (2020). Air pollution and its effects on the immune system. *Free Radic Biol Med.*, 151, 56-68. DOI : 10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.179.
- Guide méthodologique de production des résumés de séjour du PMSI en médecine, chirurgie et obstétrique [Internet]. Disponible sur: <https://www.atih.sante.fr/sites/default/files/public/content/1200/GuideProdResumeSorti eMCO.pdf>
- Heinrich, J., & Schikowski, T. (2018). COPD Patients as Vulnerable Subpopulation for Exposure to Ambient Air Pollution. *Curr Environ Health Rep.*, 5(1), 70-76. DOI : 10.1007/s40572-018-0178-z.
- Kim, H., Kim, J., Kim, S., et al. (2017). Cardiovascular Effects of Long-Term Exposure to Air Pollution: A Population-Based Study With 900 845 Person-Years of Follow-up. *Journal of the American Heart Association*, 6(11). <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/JAHA.117.007170>
- Lall, R., Ito, K., Thurston, G.D. (2011). Distributed lag analyses of daily hospital admissions and source-apportioned fine particle air pollution. *Environ Health Perspect*, 119(4), 455-60. DOI : 10.1289/ehp.1002638.
- Larrieu, S., Jusot, J.-F., Blanchard, M., et al. (2007). Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities: The PSAS program. *Science of The Total Environment*, 387(1-3), 105-12.

- Li, G., Zhao, H., Hu, M., et al. (2022). Short-term exposure to six air pollutants and cause-specific cardiovascular mortality of nine counties or districts in Anhui Province, China. *Environ Sci Pollut Res Int*, 29(49), 75072-75085. DOI : 10.1007/s11356-022-21128-7.
- Liu, Y., Sun, J., Gou, Y., et al. (2018). A Multicity Analysis of the Short-Term Effects of Air Pollution on the Chronic Obstructive Pulmonary Disease Hospital Admissions in Shandong, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 774.
- Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (1) - Légifrance [Internet]. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000381337/>
- Lu, W., Tian, Q., Xu, R., et al. (2022). Short-term exposure to ambient air pollution and pneumonia hospital admission among patients with COPD: a time-stratified case-crossover study. *Respir Res*, 23(1), 71. DOI : 10.1186/s12931-022-01989-9.
- Maignant, G. & Staccini, P. (2018). *Approches statistique, cartographique et numérique de santé*. ISTE Editions.
- Malley, C.S., Kuylenstierna, J.C.I., Vallack, H.W., et al. (2017). Preterm birth associated with maternal fine particulate matter exposure: A global, regional and national assessment. *Environment International*, 101, 173-82.
- Moore, E., Chatzidiakou, L., Kuku, M.-O., et al. (2016). Global Associations between Air Pollutants and Chronic Obstructive Pulmonary Disease Hospitalizations: A Systematic Review. *Annals of the American Thoracic Society*. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201601-064OC>
- Mounier, E. (1946). *Traité du caractère*. Seuil.
- Nascimento, L.-F., Vieira, L.C., Mantovani, K.C., et al. (2016). Air pollution and respiratory diseases: ecological time series. *Sao Paulo medicine Journal*, 134 (4), 315-21.
- OMS (2022). Pollution de l'air - infographies [Internet]. WHO. World Health Organization <http://www.who.int/phe/infographics/air-pollution/fr/>
- Pascal, L., Chatignoux, E., Prouvost, H., et al. (2009). Liens à court terme entre la mortalité et les admissions à l'hôpital et les niveaux de pollution atmosphérique dans neuf villes françaises. *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire*, 5, 41-44.
- PMI : Le programme de médicalisation des systèmes d'information [Internet]. [cité 23 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.caducee.net/DossierSpecialises/systemeinformation-sante/pmsi.asp> 30. rum006 | Publication ATIH [Internet]. [cité 23 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.atih.sante.fr/rum006>
- Sinharay, R., Gong, J., Barratt, B., et al. (2018). Respiratory and cardiovascular responses to walking down a traffic-polluted road compared with walking in a traffic-free area in participants aged 60 years and older with chronic lung or heart disease and age-matched healthy controls: a randomised, crossover study. *The Lancet*, 391(10118), 339-349. DOI : 10.1016/S0140-6736(17)32643-0. Erratum in: *The Lancet*. 2018, 391(10118):308.
- Song, Q., Christiani, D.C., Wang, X., et al. (2014). The Global Contribution of Outdoor Air Pollution to the Incidence, Prevalence, Mortality and Hospital Admission for Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*, 11(11), 11822-32. DOI : 10.3390/ijerph111111822.
- Stieb, D.M., Szyszkowicz, M., Rowe, B.H., et al. (2009). Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. *Environ Health*, 8, 25.

- Suissa, L., Fortier, M., Lachaud, S., et al. (2013). Ozone air pollution and ischaemic stroke occurrence: a case-crossover study in Nice, France. *BMJ Open*, 3(12), e004060.
- World Health Organization (2000). Air quality guidelines for Europe. 2nd ed. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe, WHO regional publications, 273 p.
- Xu, H., Wang, X., Tian, Y., et al. (2022). Short-term exposure to gaseous air pollutants and daily hospitalizations for acute upper and lower respiratory infections among children from 25 cities in China. *Environ Res.*, 212(Pt D), 113493. DOI : 10.1016/j.envres.2022.113493.
- Zanobetti, A., Bind, M.-A.C., Schwartz, J. (2008). Particulate air pollution and survival in a COPD cohort. *Environmental Health*, 7(1), 48, DOI : <https://doi.org/10.1186/1476-069X-7-48>.
- Zheng, J., Yang, X., Hu, S., et al. (2022). Association between short-term exposure to air pollution and respiratory diseases among children in China: a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Health Res.*, 32(11), 2512-2532. DOI : 10.1080/09603123.2021.1974822.
- Zhu, R., Chen, Y., Wu, S., et al. (2013). La relation entre les matières particulaires (PM10) et les hospitalisations et la mortalité de la bronchopneumopathie chronique obstructive : une méta-analyse. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 10(3), 307-15. DOI : 10.3109/15412555.2012.744962.
- Zysman, M., Raheison-Semjen, C. (2022) Women's COPD. *Front Med.*, 8, 600107. DOI : 10.3389/fmed.2021.600107.

NOTES

1. Le GLM généralise la régression linéaire en permettant au modèle linéaire d'être relié à la variable réponse via une fonction lien et en autorisant l'amplitude de la variance de chaque mesure d'être une fonction de sa valeur prévue, en fonction de la loi choisie.
2. RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données.

RÉSUMÉS

La problématique de l'environnement-santé n'est pas nouvelle. De très nombreux auteurs (Beelen et al., 2014 ; DGS 2020 ; Zanobetti et al., 2008) se sont intéressés à l'effet – à plus ou moins long terme – sur la survenue de pathologies. Bien souvent, ces études travaillent à une échelle géographique nationale. Nous avons pris le parti de regarder les liens entre trois polluants atmosphériques à savoir le dioxyde d'azote, l'ozone et les particules (PM₁₀) sur la survenue d'une exacerbation de bronchopneumopathies chroniques obstructives (BPCO) dans la ville de Nice, sur la période allant de janvier 2012 à décembre 2018, soulignant ainsi une accentuation des fragilités des humains évoluant sur ces territoires. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés d'une part sur les données du PMSI et d'autre part sur des données recueillies par les différentes stations de surveillance de la qualité de l'air, provenant du réseau de surveillance de la qualité de l'air AtmoSud. Pour étudier ce lien statistique et ses conséquences, nous avons utilisé un modèle de régression de Poisson basé sur un modèle linéaire généralisé. Ce modèle a été essentiellement alimenté par deux indicateurs que nous avons construits. Le modèle de régression permet ainsi

d'estimer le coefficient associé à notre variable explicative et de calculer un risque relatif. Ainsi, nous avons pu mettre en évidence un lien significatif entre deux de nos polluants et notre évènement sanitaire, à savoir la survenue d'une exacerbation de BPCO.

The environment-health issue is not new. Many authors (Beelen et al., 2014; DGS 2020; Zanobetti et al., 2008) have looked at the effect—in the long term—on the occurrence of pathologies. Very often, these studies work on a national geographical scale. We decided to look at the links between three atmospheric pollutants, namely nitrogen dioxide, ozone, and particulate matter (PM10), on the occurrence of an exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in the city of Nice, over the period from January 2012 to December 2018, thus underlining an accentuation of the fragility of humans evolving in these territories. To do this, we relied on the one hand on PMSI data and on the other hand on data collected by the different air quality monitoring stations, from the AtmoSud air quality monitoring network. To study this statistical relationship and its consequences, we used a Poisson regression model based on a generalized linear model. This model was essentially fed by two indicators that we constructed. The regression model thus allows us to estimate the coefficient associated with our explanatory variable and to calculate a relative risk. Thus, we were able to show a significant link between two of our pollutants and our health event, namely the occurrence of a COPD exacerbation.

From two databases, we built our statistical model to estimate a possible relationship between exposure to an air pollutant and a COPD exacerbation. The model chosen was a Generalized Linear Model (GLM) of the counting type (Poisson regression), taking into account overdispersion, i.e., when the variance of the observed data is greater than the mean of the variable.) Our unit of observation was the day.

With this in mind, we constructed two indicators:

- A health indicator: this is our variable to be explained. It corresponds to the number of daily admissions for a COPD exacerbation. The data for its construction were extracted from the PMSI files according to the main cause of hospitalization, recorded at hospital discharge. The model expresses the neperian logarithm of the expectation of our health indicator.

- A pollution indicator: This is our explanatory variable. Initially, to model the population's exposure to ambient air pollution, our hypothesis was that the measurements recorded by AtmoSud are an unbiased estimate of the average of the individual values of the exposure of the individuals composing our study population. In practice, this assumption translates into the use of the arithmetic mean of the daily concentrations of the different pollutants recorded by the different measuring stations located in Nice (the daily values of a station being, themselves, the means of the 24 hourly measurements recorded by the station).

This average constitutes the ambient exposure indicator which, each day, is attributed to the whole population. The indicator was constructed using data from daily measurements of pollutants from the various air quality monitoring stations in Nice. It is in micrograms per cubic meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). In a second step, this indicator underwent a transformation (of the binary type) to test the possible links with values taken as threshold (the 50 percentiles, the 75 percentile and the EU limit value for the protection of human life). The indicator was then set to "1" if it is above the threshold values and "0" if it is not. Our pollution indicator was tested on a set of lags (from 0 to 5 days, called Lag0 to Lag5) to assess possible statistical relationships on the same and previous days.

Chronic obstructive pulmonary disease, a chronic inflammatory respiratory disease, is often not well known to the public. However, it leads to numerous hospitalizations and deaths each year

due to its exacerbation. The main risk factor for this disease is smoking (active or passive), but other factors also increase the risk of developing this disease, notably indoor and outdoor air pollution. Our study highlighted this disease and established a link with certain air pollutants (the three main ones in the city). We found that increased concentrations of nitrogen dioxide could increase the number of admissions for COPD exacerbation. This link was established with concentration values well below the values defined by the EU for health protection. This could raise the question of re-evaluating these values or creating regionalized reference values. According to our results, ozone seems to have a protective effect on COPD exacerbations in our region. However, we could not establish a significant link between COPD exacerbation and particulate matter (PM10), although PM10 concentrations in Nice exceeded the European guideline values most of the time.

INDEX

Mots-clés : pollution de l'air, bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), modèle statistique

Keywords : air pollution, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), statistical model

AUTEURS

GILLES MAIGNANT

RETINES – Risques, Epidémiologie, Territoire, Informations, Education et Santé, Université Côte d'Azur.

LAURENCE VANIN

Expert/Smart City : Philosophie & Ethique/Chercheur Associé au Laboratoire Ville, Mobilité, Transport – LVMT – Université Gustave Eiffel.

YVON K. AWUKLU

RETINES – Risques, Epidémiologie, Territoire, Informations, Education et Santé, Université Côte d'Azur.

PASCAL STACCINI

RETINES – Risques, Epidémiologie, Territoire, Informations, Education et Santé, Université Côte d'Azur.